J. Fessler

Festigkeit der
Menschlichen Gelenke

München
1894.

Festigkeit

der

menschlichen Gelenke

mit besonderer Berücksichtigung

des

Bandapparates

(mit 5 Tafeln und 14 Abbildungen im Text)

zur

Habilitationsschrift

ausgearbeitet

und der königl. bayer. Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Dr. med. J. Fessler.

M. RIEGER'sche
Universitäts- Buchhandlung
(GUSTAV HIMMER, k. b. Hoflieferant)
Odeons- platz 2.
MÜNCHEN 1894.

Einführung.

Vorliegende Arbeit verdankt ihre Entstehung der Anregung des Herrn Prof. Dr. Angerer.

Die Versuchsobjecte wurden mit Einwilligung des Herrn Prof. Dr. Rüdinger im anatomischen Institut vorbereitet, indem dortselbst die Gelenke bis auf ihre Bänder frei präparirt wurden. Die Versuche selbst wurden in dem unter Leitung des Herrn Prof. Bauschinger stehenden mechanisch-technischen Laboratorium der kgl. techn. Hochschule ausgeführt.

Den genannten Herren möchte ich daher meinen wärmsten Dank an erster Stelle bekunden.

Bei den Versuchen kamen sowohl frische Leichen, als auch solche, welche nach der Methode des Herrn Prof. Rüdinger durch Injection mit Carbolsäure-Glycerin-Alcoholmischung conserviert waren, zur Verwendung.

Die Versuche basiren auf Grundsätzen der Mechanik. Zum Verständnis des Folgenden müssen einige Sätze aus dieser Wissenschaft vorausgeschickt werden.

Geprüft wurden die Gelenke hauptsächlich auf ihre absolute Festigkeit, Zugfestigkeit; man versteht darunter den Widerstand eines Körpers gegen eine Kraft, welche denselben seiner Länge nach auszudehnen und zu zerreissen sucht. In jedem Körper sind die Kräfte seiner Moleküle im Gleichgewichtszustand. Wird derselbe ausgedehnt, so leisten die ihm innewohnenden Molekularkräfte Widerstand; der dehnenden Kraft entspricht alsdann eine

bestimmte Verlängerung. Diese Verlängerung ist bei den meisten Körpern innerhalb einer gewissen Grenze den Kräften proportional.

Man nennt diese Grenze die der unveränderlichen Elasticität. Innerhalb derselben ist der Körper vollkommen elastisch. Wird die Verlängerung über diese Grenze hinaus bewirkt, so wächst im Allgemeinen die Formveränderung schneller als die sie hervorbringende Kraft. Nach Verschwinden dieser Kraft tritt immer eine bleibende Formveränderung ein. Der Körper kehrt nicht mehr ganz auf seine frühere Länge zurück. Er ist nicht mehr vollkommen elastisch, sondern etwas bleibend gedehnt, mithin nur noch zum Teil elastisch.

Man hat demnach bei derartigen Festigkeitsproben die durch eine bestimmte Kraft (Belastung) verursachte Gesammtdehnung und nach der Entlastung eine bleibende Dehnung zu berücksichtigen, vorausgesetzt, dass durch die Belastung bereits die Grenze der Elasticität überschritten war. Die Differenz zwischen Gesammtdehnung und bleibender Dehnung heisst elastische Dehnung; sie stellt die Grösse dar, um welche sich der Körper nach der Entlastung wieder zusammenzieht.

Bei den Festigkeitsproben der Gelenke und Bänder wurden die Belastungen in kurzen, gleichgrossen Pausen (von höchstens einigen Minuten) immer um dieselbe Gewichtszulage gesteigert, hiebei die Streckung und Dehnung der Kapsel, sowie der Bänder beobachtet und zum Schlusse durch die allmälige Steigerung der Belastung der Riss des Gelenkes und der Bänder erzielt.

Zeitversuche mit einer für viele Stunden gleichbleibenden Belastung, wie sie Wertheim (Annales de chimie 1847 3. ser. tom. 21) bei Sehnen, Nerven, Arterien, Muskeln, und Paschen (Deutsche Zeitschrift für Chirurgie III. Bd. 4. Heft), Reyher (dortselbst IV. Bd. 1. Heft), Schulze (dortselbst VII. Bd. 1. und 2. Heft) an Gelenken mit gleichbleibender Belastung, selbst auf Tage hinaus, gemacht haben, wurden nicht ausgeführt. Es sollte ja in vorliegender Arbeit die absolute Festigkeit der Gelenke bestimmt werden, das heisst die Belastungshöhe, welche ein Gelenk für eine kurze Zeit eben noch tragen kann, bis es zum Bruche kommt. Die erwähnten Arbeiten über Gelenke beschäftigen sich aber mit der durch eine permanente Zugkraft von etwa 10—50 Kgr

erzeugten Diastase der Gelenkenden in Rücksicht auf die in der praktischen Chirurgie üblichen Zugverbände, nicht mit der Festigkeit und Dehnbarkeit der Gelenke und Bänder im Allgemeinen.

Solche Festigkeitsproben, bei welchen das ruhig hängende Gewicht von Minute zu Minute immer um ein gleichbleibendes Mass gesteigert wird, geben vollkommen sichere Resultate in Bezug auf die Bruchfestigkeit. Man kann nicht einwenden, dass in den Intervallen der allmälich gesteigerten Belastung ein das Gelenk schwächendes Moment gelegen sei, dass man mit andern Worten nicht die richtige Vorstellung bekomme, was ein Gelenk überhaupt tragen kann, indem es einen Unterschied gäbe, ob man mit einem Male gerade die ganze Belastung dem Gelenk aufbürde, welche es noch trägt, oder ob man allmälich die Belastung bis zu jener Höhe steigere.

Einen solchen Unterschied bringen bei ruhender Belastung (abzusehen von Stössen und Erschütterungen) die kurzen Zeitunterschiede der allmälich wachsenden Belastung nicht hervor. (Prof. Bauschinger hat derartige Parallelversuche bei Stahl u. s. w. gemacht und keine Differenz der Bruchbelastung selbst bei mehrstündigen Intervallen finden können. Vergl. Glaser's Annalen für Gewerbe und Bauwesen Bd. IV 1879; auch 20. Heft der Mitteilung aus dem mech.-techn. Laborat. München.)

Stellen wir Betrachtungen an, über die Festigkeit der Gelenke, so kommen verschiedene Kräfte in Frage:

1. Der Zusammenhalt (Schluss, Contact) der Gelenke an und für sich, so weit er durch Adhaesion ihrer glatten Knorpelflächen vermittelst der Synovia (Molekularattraction) und durch den Luftdruck besorgt wird.

2. Die Spannkraft der die Gelenke überspringenden Muskeln in ruhendem und thätigem Zustande (durch Muskeltonus und Muskelcontraction).

3. Die Festigkeit der Gelenkkapsel und ihres Bandapparates selbst.

Was den Einfluss der Muskelkraft anlangt, so liegen bereits mehrfache Untersuchungen vor; Prof. H. Buchner (Archiv für Anatomie 1877 u. 1878) wies z. B. nach, dass am Hüftgelenk schon

das „minimale Verkürzungsbestreben" der Muskulatur (ihre elastische Spannung) ausreicht, das Bein im Hüftgelenk zu erhalten. Er mass die Pressungen, welche die ruhenden Muskeln auf das Gelenk ausüben, mit 6,3 Kgr, nach A. Fick (Handbuch der Physiolog. der Bewegungsapparate in Hermann's Sammelwerk 1880, I. Bd. II. Theil) beträgt diese Kraft für das Schultergelenk etwa 5 Kgr. Nach R. Fick (Habilitationsschrift, Würzburg 1892) macht während der Contraction die Arbeitsleistung aller Fussmuskeln zusammen 13,47 Kilogrammometer aus.

Dieser Einfluss der Muskeln kann durch die Contraction ungemein gesteigert und wahrscheinlich so vermehrt werden kann, dass das Gelenk selbst vollkommen entlastet, eine dem Gelenk aufgebürdete schwere Last ganz allein von den Muskeln aufgenommen wird. Es sprechen dafür, wie wir sehen werden, namentlich meine Versuche am Schultergelenk, bei welchem die Festigkeit der untern Kapselwand im Verhältnis zu der Leistungsfähigkeit des Gelenkes sehr gering ist. Allein mit dem Schluss und der Festigkeit des Gelenkes selbst hat dieser Einfluss der Muskeln wenig zu thun.

Hier kommen vor Allem die beiden anderen Kräfte zur Geltung.

Auch über die Adhaesion der Gelenkflächen, ferner über die Wirkung des Luftdruckes auf das luftdicht geschlossene Gelenk existiren schon verschiedene Arbeiten: Zuerst erbrachten die Gebrüder E. u. W. Weber (Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, Göttingen 1836) den Nachweis, dass der Schenkelkopf in der Hüftpfanne durch den Luftdruck erhalten werde. Rose (Die Mechanik des Hüftgelenkes, in Müller's Archiv für Anatomie, 1865), später H. Buchner (citat. loco) zweifelten die Weber'schen Resultate an und legten mehr Gewicht auf die Bedeutung der Muskelspannung für den Zusammenhalt des Hüftgelenkes, Rose ausserdem noch auf die Adhaesion der Synovia. Aeby (Deutsche Zeitschrift für Chirurgie 1875 u. 76), Schmid (daselbst 1875), ferner van Braam Houckgeest (Archiv für Anatomie 1877) und E. Fick (Archiv für Anatomie 1878, Heft 2, 3, 6) aber haben nachgewiesen, dass das Weber'sche Gesetz von der Aequilibrierung des Gelenkkopfes in der Pfanne durch den Luftdruck sowohl beim Hüftgelenk zu Recht besteht, als auch für die meisten übrigen menschlichen Gelenke Geltung habe. Besonders Aeby hat sich mit dieser

Frage eingehend beschäftigt und z. B. für das Schultergelenk nachgewiesen, dass ein als Ventil belassener schmaler Saum der fibrösen Gelenkkapsel am Pfannenrande genügt, den ganzen Arm nach Durchtrennung aller Weichtheile rings um die Gelenkpfanne luftdicht in dieser zu erhalten. Hob er diesem Kapselsaum vom Gelenkkopf ab, so dass Luft zwischen ihn und die Pfanne dringen konnte, so fiel der Arm herab.

Aeby hat damit auch erwiesen, dass der Adhaesion keineswegs eine hervorragende Bedeutung für den Gelenkschluss zukommt.

Er hat auch die Grösse der Luftdruckwirkung und die der Adhaesion bei verschiedenen Gelenken direkt gemessen:

1. beim Schultergelenk beträgt nach Aeby

	die Luftdruckwirkung	die Molekularattraction
	3,09 Kgr i. Max.	0,014 Kgr. i. Mittel
2. beim Hüftgelenk	20,75 Kgr „ (i. Mittel 15)	0,039
3. beim Kniegelenk	1,54	0,018
4. beim Fussgelenk	4,50	0,004
5. bei den Zehengelenken	0,275	
6. bei den Fingergelenken	0,233	
7. beim Handgelenk	0,630	
8. beim Ellenbogengelenk	3,75.	

Sehen wir ab von diesem hauptsächlich durch Luftdruck und auch durch Adhaesion bedingten Schluss der Gelenke, den ich in meinen folgenden Versuchen durch genaue Messungen der Anfangsstreckung an den stetig mehr belasteten Gelenken berücksichtigte, so kommt bei Prüfung der absoluten Festigkeit eines Gelenkes in der Hauptsache die Widerstandsfähigkeit der Kapsel gegen Zug in Betracht.

Diese zu erproben war Hauptaufgabe meiner Arbeit.

Der dazu benutzte Apparat war in den meisten Fällen eine Festigkeitsprüfungsmaschine, wie sie zum Abreissen von Drähten u. s. w. im mechanisch-technischen Laboratorium gebraucht wird. Ausserdem kamen noch zwei Hebelmaschinen in Anwendung. Da die Einspannungsvorrichtungen bei den einzelnen Gelenken sehr verschieden und compliciert waren, so werden diese Apparate bei den einzelnen Versuchen besonders beschrieben.

Die Festigkeits-Versuche habe ich nach den einzelnen Gelenken gruppirt, die nunmehr der Reihe nach folgen mögen.

Es liegt auf der Hand, dass Erfahrungen über diese Festigkeit der Gelenke wissenschaftlich und praktisch verwertbar sind für Anatomie und Physiologie, Chirurgie und gerichtliche Medizin, umsomehr als eingehende Arbeiten über diesen Gegenstand nicht vorliegen.

München, im Februar 1894.

Julius Fessler.

Inhalts-Uebersicht.

Seite

Einführung: . . . . . I—VI

Schultergelenk:

Zugversuche an Erwachsenen 1
Zugversuche an Neugeborenen 15
Hebelversuche 16

Hüftgelenk:

Zugversuche an Erwachsenen 23
Hebelversuche 37
Zugversuche an Neugeborenen 40

Kniegelenk:

Zugversuche an Erwachsenen 42
Hebelversuche 52
Zugversuche an Neugeborenen 55

Fussgelenk:

Zugversuche an Erwachsenen 56
Ligamentum interosseum 65
Zugversuche an Neugeborenen 68
Hebelversuche 69

Ellenbogengelenk:

Zugversuche an Erwachsenen 71

Handgelenk:

Zugversuche an Erwachsenen 92

Ligamentum inteross. antebrach. 103

Dehnungen am Hand- und Ellenbogengelenk durch Zug 109
Zugversuche am Hand- und Ellenbogengelenk Neugeborener 112
Hebelversuche am Hand- und Ellenbogengelenk 115

Wirbelsäule:

Zugversuche 117
Druckversuche 124

Seite
Unterkiefergelenk 127
Symphys. sacro-iliaca 128
Symphys. oss. pubis 130
Articulatio acromio-clavicul. 135
Articulatio sterno-clavicularis. 141
Zehen und Finger 148

Ueber Elasticität und Festigkeit des fibrösen Gewebes der Bänder im Allgemeinen 156

Zusammenstellung der Gelenke in ihrer Festigkeit
I. nach der mittleren Bruchbelastung 162
II. nach dem Individuum 162

Hauptsätze und Schlussfolgerungen 172

Schultergelenk.

Zug senkrecht zur Gelenkfläche in der Längsrichtung des Oberarmes, bei Erwachsenen.

Diese wie alle folgenden Zugversuche zum Auseinanderreissen der Gelenke wurden ausgeführt in einem Apparat, welcher einen Bestandteil der von Werder in Nürnberg gebauten Festigkeitsprüfungsmaschine bildet. Derselbe wurde durch Prof. Bauschinger zum Zerreissen von Drähten etwas abgeändert und kam in der Fig. 1 und 2 abgebildeten Form zur Anwendung. (Abbildungen in mechanischer Hinsicht finden sich auch in: Kronauer, Zeichnungen von Maschinen, Werkzeugen und Apparaten, Bd IV. Lieferung 7 und 8; ferner Bauschinger, Mitteilungen aus dem mechanisch-techn. Laborat. München, Heft 3 pg. 15.) Der Apparat ist im Wesen eine im Verhältnis 1 zu 10 übersetzte Hebelwage; d. h. ein auf der seitlichen Wagschale liegendes Gewicht übt auf den inneren mit paralleler Zugführung aufwärts beweglichen Wagklotz eine zehnfache Kraft aus. Unter dem Wagklotz war das Gelenk mit dem einen Knochen befestigt, während der andere im unteren Gerüstteil der Wage mit einer verstellbaren Klaue gehalten wurde. Die Gleichgewichtsstellung der Wage oder das Ueberschreiten derselben bei erneuter Mehrbelastung, oder das Sinken der äusseren Wagschale mit Beginn des Bruches, wurde durch einen Zeiger und Gradbogen, am Waghebel sofort angezeigt. Die oben seitlich und unten in der Mitte der Maschine angebrachten Schrauben dienten dazu, den oberen Wagklotz, beziehungsweise das untere Ende des Gelenkes selbst in senkrechter Richtung zu verstellen und nachzuziehen, wenn durch Dehnungen im Gelenke die äussere Wagschale aus der Gleichgewichtsstellung gesunken war.

Besondere Sorgfalt wurde bei der Einspannung der Gelenke in der Maschine darauf verwendet, den Zug möglichst gleichmässig

über den Gelenkquerschnitt zu verteilen und zugleich in die Achse und Mitte des Gelenkes zu bringen. Es wurde daher für jedes Gelenk immer eine gleiche Mittelstellung gewählt: für das Schultergelenk die Abduction zu 90° d. h. es wurde der Oberarm vom Schulterblatt abgezogen bei seitlich (in frontaler Ebene) horizontal erhobenem Arm.

In Folge dieser Anordnung musste immer der schwächste Kapselteil zuerst reissen, da keine andere Stelle der Kapsel in besonderem Grade oder mehr beansprucht war. Es liess sich deswegen von Fall zu Fall ein Schluss ziehen in Bezug auf die Festigkeit eines jeden Schultergelenkes.

Eingespannt wurde das Schulterblatt mitten unter dem oberen Wagklotz der Maschine mittels einer Seilschlinge; diese war in der Weise unter dem Acromion weg um das Collum scapulae kreisförmig gelegt, dass sie mit dem freien Ende über die vordere Fläche des Schulterblattes nach dem inneren Rande desselben zulief, diesen senkrecht kreuzte und so, in der Maschine nach oben gerichtet, das Schulterblatt nach seinem inneren Rande (medial nach innen und hinten) vom Oberarm entfernte. (Siehe folgende Fig. 4.)

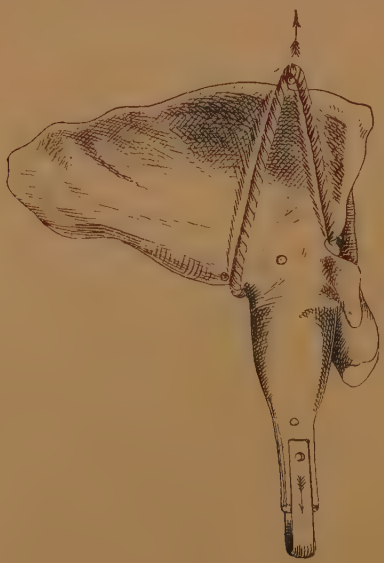


Fig. 4.

Der in der Maschine nach unten herabhängende Oberarmknochen, war im oberen Drittel quer durchbohrt und wurde vermittelst eines Stahlbolzens und eines Laschenkettengehänges vertical nach abwärts aus der Gelenkpfanne gezogen, in der Richtung der Abduction nach aussen (wobei er wie oben erwähnt mit der Körperachse einen Winkel von 90° bildete).

Der Bruch der Kapsel erfolgte, nachdem das Gelenk eine gewisse mittlere Belastung erreicht hatte, meist allmälich unter Knistern gewöhnlich an einer Stelle zuerst in grösserer Ausdehnung, aber nicht immer an der gleichen Stelle. Es wurde vielmehr die Kapsel bald halbkreisförmig unten vom Pfannenrande abgelöst oder vom chirurgischen Hals des Oberarmknochens an der Innenfläche abgerissen oder die Kapselwand selbst in der Mitte auf ihrer inneren Seite von dem gegen sie immer etwas andrückenden Oberarmkopf geschlitzt.

Dieser erste Kapselriss lag jedoch regelmässig auf der innern, untern Seite des Gelenkes. Nachdem derselbe (sei es näher dem Schulterblatt oder näher dem Oberarmknochen) erfolgt war, trug die Kapsel fast regelmässig noch eine höhere Belastung, bis auch der obere äussere Teil derselben in Strähnen vom oberen Rande der Pfanne langsam abgelöst wurde. Man konnte also fast bei jedem Fall zwei Bruchformen und -Stufen unterscheiden. Die schwächere Stelle lag regelmässig auf der Innenseite, hier aber an verschiedenen Punkten; die am präparirten Gelenke scheinbar dünnste Stelle auf der Innenseite der Kapsel in der Mitte hielt oft vielmehr als ihr Ansatz innen am Oberamknochen.

Nur zweimal wurde ein Abweichen von dieser stufenförmigen Bruchweise beobachtet: es riss hier die Kapsel sofort ringsum von der Pfanne ab; der Anfang des Risses fiel aber ebenfalls auf die innere, untere Seite. (Vergleiche die unten folgende Aufzählung der wichtigsten Fälle.)

Im Ganzen unter 13 Fällen wurde die Kapsel 7mal zuerst von der Innenfläche des Oberarmknochens abgeschält, 3mal zuerst unten von der Pfanne abgerissen, und nur 1mal schlitzte sie an erster Stelle über dem Gelenkkopf innen ein. Bei demselben Individuum wurde rechts wie links die gleiche Bruchform beobachtet. Dem Einreissen des fibrösen Gewebes ging hier wie bei allen Ge-

lenken 5 bis 10 Kgr (Kilogramme) vor der Maximalbelastung ein deutliches Knistern voraus, die stark ausgezogenen Bänder verfärbten sich hiebei mattweiss; oft lösten sich allmälich in diesen weissen Stellen einzelne Fasern ab. Mit den abreissenden Bändern wurden oft Periostfetzen, Knochenstückchen und Knorpellamellen mit Synovialmembran vom Gelenkkopf abgelöst.

Wurden im einzelnen Falle des Vergleiches halber die das Gelenk umgebenden und überspringenden eingelenkigen Muskeln erhalten, so wurde der Gelenkkopf früher aus der Pfanne gerissen als die Muskeln in Stücke gingen; diese wurden nur ungemein stark in die Länge gezogen. Die lange Bicepssehne schlüpfte dabei weit in den Gelenkraum hinein. Die toten Muskeln hatten hiebei auf die Art des Bruches und die Belastungsgrösse gar keinen Einfluss ausgeübt. Dieselbe Beobachtung wurde auch später an dem von Muskeln so vielseitig umhüllten Hüftgelenk gemacht. Am toten Präparat spielte ein Mehr oder Weniger an contractiler Substanz eine sehr unbedeutende Rolle; hier kam nur die Masse des fibrösen Gewebes in Betracht.*) Deshalb wurden auch für das Schultergelenk im Vergleich zu seiner Aufgabe gegenüber den anderen Gelenken erstaunlich kleine Zahlen in der Belastungsgrenze gefunden. Erstaunlich klein, wenn man bedenkt, dass ein Turner bei gewissen Schwungübungen oft viel mehr als sein Körpergewicht diesem Gelenk aufbürdet. Hier tritt eben zur Unterstützung und zum Schutz der fibrösen, an und für sich sehr frei und schutzlos angeordneten Kapsel die lebendige contractile Muskelgruppe in Thätigkeit, die viel von der Zugbelastung aufnimmt, so dass nur ein Bruchteil derselben auf das Gelenk wirken kann oder dieses möglicher Weise vollständig entlastet wird. Es contrahiren sich zum Beispiel für den Turner wahrscheinlich ganz unbewusst die Schultermuskeln gerade im Augenblick des stärksten Schwunges, der die Gelenkenden von einander ziehen würde, vollkommen und wirken dieser Zugkraft entgegen, ähnlich einer Schutzvorrichtung wie wir sie beim Auge in der Regenbogenhaut für die Netzhaut besitzen u. s. w.

Die lebenden Muskeln nehmen also bei manchen Gelenken oft

*) Nur auf die Grösse der bleibenden Dehnungen scheint die tote Muskelmasse etwas Einfluss zu haben. (Siehe S. 15.)

sehr viel von einer Kraft, welche die Bruchfestigkeit der Gelenke übersteigen kann, auf, so dass das Gelenk selbst wenig beansprucht wird und überhaupt unverletzt bleibt; die passive Muskelsubstanz hat aber mit der absoluten Festigkeit der fibrösen Kapsel, welche in vorliegender Arbeit bestimmt werden soll, gar nichts zu thun; diese bleibt nach zahlreichen Versuchen mit und ohne Muskeln die gleiche. Zum Beweise des Gesagten führe ich noch an, dass bekanntlich gerade geringfügige, aber ohne die entsprechende Muskel-Gegenwirkung erfolgte Ortsveränderungen des Gelenkes, sogenannte „ungeschickte Bewegungen", Luxationen verursachen, während die aktiven Muskeln selbst bei sehr kraftvollen Bewegungen das Gelenk vor Verrenkungen schützen.

Die Bruchbelastung für das Schultergelenk schwankt, wie schon durch das Auftreten der verschiedensten Arten des Kapselrisses zu erwarten ist, bedeutend:

Bei 13 Gelenken Erwachsener mit dem Alter von 21 bis 68 Jahren erfolgte der Bruch zwischen 60 und 200 Kgr. Eine wichtige Rolle spielte hiebei das meist in zwei Stufen erfolgende Reissen der Kapsel. In 40% aller Fälle trat schon zwischen 60 und 100 Kgr ein teilweises Einreissen der inneren Kapselwand auf (meist vom collum humeri chirurgicum sammt Periost abgelöst); der übrige, grössere, äussere Teil der Kapsel trug aber dann noch immerhin gegen 150 Kgr.

Die mittlere Bruchbelastung lag bei 146 Kgr, wenn man die in den einzelnen Fällen erlangte äusserste (End-) Belastung, mit der die Kapsel abriss, im Auge hatte, bei 128 Kgr, wenn man das erste Auftreten eines Kapselrisses (die erste Bruchstufe) berücksichtigt. Es bildeten sich diese zwei Stufen deswegen, weil der äussere und obere Teil der Kapsel durch das ligamentum coracohumerale und die Sehnen der hinteren Schulterblattmuskeln (m. supra-, infra-spinat., m. teres min.) verstärkt und widerstandsfähiger wird. In einem Falle (68jähr. Taglöhner, an Marasmus verstorben), bei dem der Kapselriss innen unten am Pfannenrand mit 80 Kgr begann, trug der äussere Teil der Kapsel auf 36 mm Breite noch 130 Kgr. Berechnete sich hier, abgesehen von einzelnen verdickenden Einlagerungen, die Kapseldicke auf 0,5 mm (nach Henle im Mittel auf $^1/_3$ mm), so kamen obige 130 Kgr auf einen Querschnitt von etwa

18 □mm; dies gibt eine Zugfestigkeit der fibrösen Kapsel für genannte Stelle von etwa 8 Kgr auf 1 □mm bis zum Bruch. Diese Zahl stimmt gut zusammen mit der am Schlusse der Arbeit ermittelten Festigkeit des fibrösen Gewebes überhaupt (mehr als 6—7 Kgr auf 1 □mm Querdurchschnitt).

Dass die bei Prüfung des Gelenkes in Abductionsstellung gefundenen Zahlen von 128—146 Kgr die richtigen sind für die Festigkeit der fibrösen Kapsel an und für sich, geht daraus hervor, dass auch eine Beanspruchung in anderer Stellung z. B. ein Zug am senkrecht herabhängenden Arm zu ähnlichen Zahlen führte: z. B. bei einem 53jähr. Taglöhner mit 170 Kgr Bruch durch Loslösung der Kapsel von der Innenseite des coll. humer. chirurgicum; also ganz in derselben Weise wie bei der Beanspruchung auf Zug in 90° seitlicher Abduction zur Horizontalen. Bei dieser letzteren, gewöhnlich geübten Zugweise wurden, wie Eingangs bemerkt, alle Teile der Kapsel viel gleichmässiger beansprucht, als in jeder anderen Stellung.

Wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung der wichtigsten Fälle ersichtlich ist, besteht ein durchgreifender Unterschied nach Alter und Geschlecht bei Erwachsenen nicht. Wohl lässt sich ein kleiner Unterschied zu Gunsten der rechten Seite auf etwa 20 Kgr herausfinden. Ausschlaggebend ist dagegen die Entwicklung des ganzen Körpers überhaupt.

Einspannung in 90° Abduction.

Versuchsnummer	Alter	Gelenk	Kapselriss	
1. Ockonom, Körperlänge 145 cm, Körperschwere 42 Kgr.	Jahre 34	R.	mit 60 Kgr „ 110 „	begann er innen am coll. humer. oben unter dem acromion.
2. Taglöhner,	39	L.	„ 80 „ „ 155 „	innen in der Mitte über dem caput humeri. derselbe Riss nach aussen vergrössert.
3. Taglöhner,	68	L.	„ 80 „ „ 130 „	beginnend innen unten am Gelenkrand des Schulterblattes. von hier kreisförmig nach vorn und nach hinten um den Gelenkrand herum.

Versuchsnummer	Alter	Gelenk	Kapselriss	
4. Taglöhner,	68 Jahre	R. mit muscul. deltoides	mit 80 Kgr	ebenso unten innen an der cavitas glenoidal. beginnend, aber sofort vollkommen herumlaufend.
5. Magd,	45	L. mit m. delt.	> 130 „	collum scapulae bricht längs durch.
6. „	„	R. ohne m. delt.	„ 140 „	collum scapulae bricht längs durch. also > (grösser wie) 130 und 140 die Kapsel stärker.
7. Filia publica, Körperlänge 156 cm, Körperschwere 37 Kgr.	21	L. ohne m. delt.	mit 135 „ „ 150 „	innen beginnend. Ablösung vom collum humer. dieselbe ringsum vollkommen.
8. Dieselbe	„	R. mit m. delt.	„ 130 „ „ 175 „	innen am coll. humer. beginnend. rings herumlaufend.
9. Hausirerin, Körperlänge 154 cm, Körperschwere 34,5 Kgr.	56	R.	„ 100 „ „ 150 „	ebenso beginnend. kreisförmig vollkommen vom humerus ab.
10. Arbeiterin einer Schweizerei, Körperlänge 171 cm, Körperschwere 53 Kgr.	29	R.	„ 150 „ „ 160 „	am coll. humer. beginnend. äusserer oberer Kapselteil vom Schulterblatt abgerissen.
11. Derselbe	29	L.	„ 130 „ „ 150 „	Ablösung innen vom collum humer. beginnend. oben aussen vom Schulterblatt in Strähnen.
12. Taglöhner,	53	R.	„ 170 „	am coll. humer.
13. Maurer,	53	R. mit allen eingelenk. Muskeln	„ 200 „	kalbkreisförm. beginnend unten an der fossa glenoid. scapul.

Die Dehnungen der Kapsel

wurden in allen Versuchen bei jeder neuen Gewichtszulage von 1 bis 10 Kgr an später beschriebenen Marken der Gelenkknochen gemessen. Dadurch wurde in steigender Progression in jedem der Fälle ein Bild über den Verlauf des Versuches erhalten, ein Dehnungszuwachs für eine Belastungsperiode von 5 zu 5 oder 10 zu 10 Kgr, die immer etwa 2 bis 3 Minuten beobachtet und dann

wieder gesteigert wurde. In bestimmten Abschnitten des Versuches wurde ausserdem noch die ganze Belastung von der Wage genommen, also auf die Belastung Null zurückgegangen, um den Grad des Rückganges der Kapselwand zum Ausgangspunkt zu finden und aus dem dabei gefundenen Unterschied dieses neuen Nullstandes die etwa eingetretene bleibende Dehnung und die Retractionsfähigkeit, Elasticität der Kapsel (elastische Dehnung) zu ermessen. War hiebei dieser neue Nullstand dem ursprünglichen gleich, so war die Kapsel noch vollkommen elastisch, im andern Falle war bleibende Dehnung erfolgt, das Gelenk also bleibend verändert.

Diese Verhältnisse wurden bei allen Gelenkzugsversuchen in gleicher Weise berücksichtigt um Vergleiche über die Streckungsfähigkeit und Etasticität der Gelenke anstellen zu können. Nicht bei allen Gelenken war nämlich der durch die untersten Belastungen erreichte Grad der Streckungsfähigkeit ein gleicher. Es gibt bekanntlich verschiedene Gelenke, deren Kapsel so lose und schlaff angelegt ist, dass für wenige Kilogramm Belastung eine bedeutende Streckung bemerkbar wird, ohne dass gerade eine Dehnung der Kapsel eingetreten ist, so z. B. das obere Radiusgelenk, das Schulter- und das Hand-Gelenk. Andere wieder zeigen eine so feste, stramme Anordnung der Gelenkbänder, dass sie nur wenig streckbar sind, und dass auch bei hoher Belastung die Dehnungen sehr gering bleiben, so das obere Ulnagelenk, das Kniegelenk. Bei obiger Streckung der schlaffen Kapsel durch wenige Kilogramm spielt auch der Luftdruck, der durch die erste Belastung überwunden wird, eine bedeutende Rolle, wie dies bereits von den Gebrüdern Weber (Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, Göttingen, 1836) eingehend festgestellt worden ist. Diese erste Streckung war beim Schultergelenk, wie aus den folgenden Beispielen hervorgehen wird, eine sehr bedeutende. Im weiteren Verlauf der Belastung war die eigentliche Dehnung der Kapsel eine ziemlich geringe und ihre Zunahme eine stetig gleichmässige, gerade so wie bei anderen wenig streckbaren Gelenken. Auch der Eintritt der ersten bleibenden Dehnung als Grenze der vollkommenen Elasticität war bei allen Gelenken ziemlich gleichmässig.

Die Erscheinung der allmälichen Dehnungszunahme und das Eintreten der bleibenden Dehnung erfolgte bei den Gelenken ganz

in der gleichen Weise wie bei den Versuchen an einzelnen Stücken fibrösen Gewebes, isolirten Bändern, wie sie am Schlusse der Arbeit gezeigt werden. Einige Beispiele über den Verlauf der Belastungen und Dehnungen mögen bei den einzelnen Gelenken das Nähere erläutern.

Nur auf eine Eigentümlichkeit, die bei allen Versuchen mit fibrösem Gewebe wiederkehren wird, sei hier kurz noch hingewiesen: Es wird nämlich in vielen Fällen die stetige Zunahme der Dehnungen bei anwachsender Belastung im Verlauf des Versuches durch Perioden mit kleineren Dehnungen unterbrochen. Es sind dies ähnliche Verhältnisse, wie sie sich bei Versuchen mit Treibriemen aus Leder, Seilen aus Hanf, Baumwolle, bei Gliederketten aus Metall, überhaupt bei Materialien von zusammengesetzter Struktur ergeben. Diese Erscheinung beruht wohl darauf, dass während des Versuches sich einzelne Fasern des Gewebes in verschiedenen Stadien der Belastung strecken und richten. Zur Veranschaulichung mögen einige Zahlen aus Professor Bauschingers Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der k. technischen Hochschule München, 1888, Heft 17 folgen:

Ledertreibriemen			Seil aus italienischem Hanf		
Belastung	Messlänge	Dehnungszuwachs für 10 Kgr	Belastung	Messlänge	Dehnungszuwachs für 10 Kgr
Kgr	mm	mm	Kgr	mm	mm
0	500		0	800	
		2,5			7
100	525		50	835	
		1,15			3,2
200	536		100	851	
		1,1			2,2
300	547		150	862	
		0,9			1,8
400	556		200	871	
		1,2			1,6
500	568		250	879	
		1,2			1,6
600	580		300	887	
		1,0			1,2
700	590		350	893	
		1,0			0,8
800	600		400	897	
		0,6			0,6
900	606		450	903	
					1,0
			500	908	

Die Dehnungen am Schultergelenk und an allen übrigen Gelenken wurden durch direkte Abmessung mittelst eines mit Feinstellung versehenen Taster-Zirkels gefunden und auf einem Transversalmassstab mit $^1/_{10}$ mm Genauigkeit abgelesen. Die Messpunkte waren dabei am Gelenke durch Reissnägel markirt, die an be-

stimmten senkrecht übereinander befindlichen Stellen möglichst parallel zur Zugrichtung in die das Gelenk bildenden Knochen eingeschlagen wurden. In Mitten der flachen Köpfe dieser Nägel waren feine Körner eingebohrt, in welche die Spitze des Zirkels eingesetzt und so der Abstand von Marke zu Marke mit ziemlicher Genauigkeit abgelesen werden konnte. Waren solche Reissnägel schwer anzubringen (an der Hand- und Fusswurzel zuweilen, bei Gelenkknochen kleiner Kinder) so wurden Nadeln eingestochen und die Fusspunkte derselben als Tasterpunkte benutzt.

Am Schultergelenk wurden nur zwei Marken angebracht: die eine auf der vordern Fläche des collum scap. möglichst nahe und central über der Gelenkfläche, die andere auf der Innenseite des Oberarmknochenschaftes nahe über der Bolzungsstelle. (Siehe in Fig. 4 die eingekreisten Stellen auf den Gelenkknochen.)

Um die Wirkung des Luftdruckes zu berücksichtigen, wurden die Muskelansätze an der Kapselwand und mit ihnen die Schleimbeutel (namentlich jener unter dem musc. supraspinatus und unterhalb des Acromions) möglichst erhalten. War nämlich dieser verletzt, so glitt der Gelenkknopf, allerdings von seiner durch den Luftdruck stark eingezogenen Kapsel enganliegend bedeckt, schon auf ganz geringen Zug hin aus der cavitas glenoidalis heraus, weil eben in obigen Schleimbeutel zwischen Acromion und oberer Kapselwand Luft eindringen konnte. Wir werden sehen, dass die dadurch hervorgerufene Verrückung des Gelenkkopfes zur Pfanne ganz bedeutende Unterschiede in den Messungszahlen ergab, ohne dass an der Kapsel selbst eine eigentliche Dehnung erfolgt war: Wurde der Gelenkkopf mit der ihn engüberspannenden Kapsel wieder unter das Acromion hineingedrückt, die in den Schleimbeutel eingedrungene Luft also wieder herausgepresst, so war die frühere Nullstellung wieder erreicht, eine wirkliche Dehnung der Kapsel konnte also nicht erfolgt sein, das Gelenk war nur ausgezogen worden. Aber selbst ohne dass die Schleimbeutel oder die Kapsel des Schultergelenkes verletzt waren, selbst bei Erhaltung sämmtlicher Muskeln, wurde durch wenige Kilogramm schon eine bedeutende Streckung erlangt, wobei die Kapsel und die Muskeln zwischen Gelenkkopf und Kapsel durch den Luftdruck von aussen stark eingezogen wurden. Auch diese Lageveränderung konnte nach

der Entlastung durch einfaches Zurückbringen des Gelenkkopfes in die Pfanne ohne bleibende Veränderung wieder ausgeglichen werden. Im weiteren Verlauf der Belastung erfolgte dann bleibende Dehnung.

Einige Beispiele mögen das Nähere zeigen:

Frühere Versuchsnummer 11.

29jähr. Arbeiter, in einer Schweizerei beschäftigt.

Körper: 171 cm lang, 53 Kgr schwer, schlank.

Todesursache: Tuberkulos. pulmon.

Linkes Schultergelenk.

Markenabstand bei Null-Belastung 106,8mm.

	Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	
	0	0		
	1	1	1	
	3	2,1	1,1	
Entlastet	0	0,6	0,6	
			3,5	zwischen 3 und 5 Kgr.
	5	5,6		
Entlastet	0	1,6	1,6	zwischen ursprüngl. Nullstellung und der nach 5 Kgr.
			2,9	
	10	8,5		Streckung mit 10 Kgr = 8,5 mm.
Entlastet	0_I	3,6	2,0	an dem durch 10 Kgr gestreckten Gelenk bleibt eine Dehnung von 3,6 mm, die aber, wenn man das Gelenk in die Pfanne zurückbringt, verschwindet.
	0_{II}	0	0	(nachdem der Gelenkkopf in die Pfanne zurückgebracht ist).
	50	14,3	5,8	zwischen 10 und 50 Kgr.
Entlastet	0	5,6	2,0	Zuwachs der bleibenden Dehnung: zwischen 0_I und Nullstellung nach 50 Kgr als erste auch nach dem Zurückbringen des Gelenkkopfes verbleibende Dehnung.
	80	16,9	2,6	zwischen 50 und 80 Kgr.
	100	18,6	1,7	zwischen 80 und 100 Kgr.
Entlastet	0	9,2	5,6	bleibende Dehnung nach 100 Kgr.
	130	21,7	3,1	zwischen 80 und 100 Kgr. Gesammtdehnung 21,7 mm durch 130 Kgr.
Entlastet	0	11,9	8,3	Gesammte bleib. Dehnung. Elastische Dehnung = 21,7 — 8,3 = 13,4 mm. Die Kapsel geht also um fast zwei Drittel der Ausdehnung wieder zurück.

Mit 130 Kgr knistert die Kapsel, doch trägt sie noch; beim zweitmaligen Auflegen der 130 Kgr löst sie sich allmälich vom coll. humer. innen ab; der äussere Teil der Kapsel trägt noch weiter. Mit 150 Kgr reisst alsdann der äussere Teil der Kapsel an der cavitas glenoidal ab, als zweite Bruchstufe.

Frühere Versuchs-Nr. 3.

68jähriger Taglöhner.

Todesursache: Marasmus.

L. Schultergelenk.

Markenabstand bei Null-Belastung = 141,5 mm.

	Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	
	0	0	1,2	
	5	1,2		
Entlastet	0	0	4,2	zwischen 5 und 10 Kgr. Streckung mit 10 Kgr = 5,4 mm.
	10	5,4		
Entlastet	0	0,8	0,8	als Dehnung nach 10 Kgr Belastung scheinbar eingetreten, beruht aber nur auf Kapselstreckung und verschwindet, wenn man d. Gelenkkopf in d. Pfanne zurückbringt.
	0	0	0	
	20	10,9	5,5	Dehnung zwischen 10 und 20 Kgr.
Entlastet	0	7,4	6,6	zwischen 0, und 0 nach 20 Kgr als erste bleibende Dehnung.
	50	13,5	2,6	zwischen 20 und 50 Kgr. Gesammtdehnung = 13,5 mm.

Mit 80 Kgr Kapselriss unten an der cavitas glenoid. scapulae. Der äussere Teil der Kapsel mit etwa 18 □mm Querschnitt trägt noch: 130 Kgr und wird dadurch oben vom Pfannenrand abgelöst, hat also hier eine Bruchfestigkeit von etwa 8 Kgr auf 1 □mm Querschnitt (siehe oben).

Frühere Versuchs-Nr. 13.

Maurer, 53 Jahre alt.

Todesursache: vitium cordis.

R. Schultergelenk mit allen eingelenk. Muskeln wie die übrigen Fälle.

Markenabstand bei Null Belastung = 151,6 mm.

	Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	Bleibende Dehnung bei Entlastung auf 0 mm
	0	0	2	
	3	2	2,9	
	6	4,9		
Entlastet	0	1,4		

Markenabstand bei Null-Belastung = 151,6 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	Bleibende Dehnung bei Entlastung auf 0 mm
10	7,3	2,4	Gelenkstreckung für 10 Kgr = 7,3 mm.
Entlastet 0			nach 10 Kgr $0_I = 2{,}5$ lässt sich durch Wiedereinlagerung des Gelenkkopfes in die Pfanne auf $0_{II} = 0$ zurückführen; also noch keine bleibende Dehnung der Kapsel selbst.
20	9,7	2,4	Dehnungszuwachs zwischen 10 und 20 Kgr.
Entlastet 0			nach 20 Kgr $0 = 3{,}1$ vermindert um die Streckung v. 0_I bei 10 Kgr $= 2{,}5$ gibt die erste bleibende Dehnung $= 0{,}6$.
30	11,8	2,1	zwischen 20 u. 30 Kgr als stetiger Dehnungszuwachs.
Entlastet 0			nach 30 Kgr $0 = 4{,}7 - 2{,}5 = 2{,}2$
		3,1	nach 50 Kgr $0 = 7{,}0 - 2{,}5 = 4{,}5$
50	14,9		
		7,6	
100	23,5	das Gelenk knistert, Luft wird in die Kapsel eingesogen.	
0			nach 100 Kgr $0 = 12{,}7 - 2{,}5 = 10{,}2$
		7,9	ziemlich gleichförm. Dehnungszuwachs von 50 zu 50 Kgr.
150	31,4	fortwährendes Knistern im Gelenk.	
Entlastet 0			nach 150 Kgr $0 = 17{,}8 - 2{,}5 = 15{,}3$
		9,2	rasches Anwachsen des Dehnungszuwachses kurz vor dem Bruch; der Gelenkkopf stark aus der Pfanne gezogen, die Schultermuskeln sehr gedehnt.
200	40,6		
Entlastet 0			nach 150 Kgr $0 = 40{,}0 - 2{,}5 = 38{,}5$

Bei nochmaliger Belastung mit 200 Kgr wird die Kapsel ringförmig vom Schulterblatt abgelöst.

Aus sämmtlichen Versuchen lässt sich folgende Uebersicht geben:

Frühere Versuchs-Nr.	Gelenkstreckung mit 10 Kgr*) mm	Gesamtdehnung mit 50 Kgr mm	Bleibende Dehnung mit 50 Kgr mm	Kapselriss mit Kgr
1. Oekonom, 34 Jahre alt.	4,8*)	5	3,1	60 bis 110

Frühere Versuchs-Nr.	Gelenkstreckung mit 10 Kgr*) mm	Gesamtdehnung mit 50 Kgr mm	Bleibende Dehnung mit 50 Kgr mm	Kapselriss mit Kgr	
2. Taglöhner, 39 Jahre alt.	0,7 schon ausgezogen, weil die Schleimbeutel verletzt waren.	2,6	0,2	80 bis 155	
3. Linkes Gelenk Taglöhner, 68 Jahre alt.	5,4	13,5	7	80 bis 130	
4. Rechtes Gelenk mit musc. deltoides	3,1	6,7	1,1	80	
5. Linkes Gelenk mit m. delt. Magd, 45 Jahre alt.	10	6,6	2,1	> 130	Bruch des Schulterbl.
6. Rechtes Gelenk ohne m. delt.	3,6	7,4	2,5	> 140	Bruch des Schulterbl.
7. Linkes Gelenk ohne m. delt. Filia publica, 21 Jahre alt.	5,3	10,2	2,0	150	
8. Rechtes Gelenk mit m. delt.	3,7	11,3	1,9	175	
9. Hausirerin, 56 Jahre alt.	15,1	15,1	0,3	100 bis 150	
11. Schweizer, 29 Jahre alt. Linkes Gelenk	8,5	14,3	2	150 bis 160	
12. Taglöhner, 53 Jahre alt.		21,6		170	
13. Maurer, 53 Jahre alt. mit allen Muskeln	7,3*)	7,6	55	200	

Die Erhaltung des muskulus deltoides am rechten Gelenk verhinderte die Dehnung, besonders auch die bleibende nach 50 Kgr.

*) Aus der eingangs angegebenen Literatur sei erwähnt, dass Schulze (Zeitschrift f. Chirurgie 7. Bd. 1. u. 2. Heft) bei einem permanenten Zugversuch am Schultergelenk mit 4 Kgr einen 3,5 mm breiten Spaltraum bewirkte.

Aus solcher vergleichenden Zusammenstellung geht hervor:

1) Dass das Schultergelenk schon durch 10 Kgr stark streckbar ist (mit und ohne Muskeln); im Mittel um 6 mm; dass diese

Streckung aber keine eigentliche Veränderung des fibrösen Gewebes, nur eine Lageveränderung ist.

2) Dass von da ab die Kapsel selbst stetig mehr und mehr gedehnt (auch bleibend verändert) wird, und zwar

im Mittel bei 50 Kgr um 10 mm total
„ „ um 2 mm bleibend;

10 — 2 = 8 mm ist also der Ausdruck für die mittlere nach 50 Kgr noch vorhandene aber nicht mehr vollkommene Elasticität im Mittel (Elastische Dehnung).

Die tote Muskelmasse kann die Dehnung, besonders die bleibende Veränderung etwas verringern. (Vers. 4., 5., 8.).

3) Die Zunahme der Dehnungen ist eine ziemlich stetige, für 50 Kgr ungefähr 10 mm (in Vers. 13 : 7—8 mm).

Zugversuche am Schultergelenk Neugeborener.

Hierbei war die Einspannung schwierig, da die schwachen Knochen eine Bolzung nicht vertrugen; dieselben mussten daher mittelst Klammern und angepasster Holzbeilagen gefasst werden. Um das Ausgleiten zu vermeiden, wurde Schmirgelpapier beigelegt.

In drei Fällen wurde die Kapsel zwar stark gedehnt; es erfolgte aber früher Epiphysenlösung am Collum scapulae als Kapselriss. Die Höhe der Bruchbelastung war wenig verschieden:

1) Neugeb. Mädchen
3600 gr schwer, 50 cm lang. Epiphysenlösung bei 10,3 Kgr

2) Neugeb. Mädchen R. Schulter
4660 gr schwer, 45 cm lang. „ „ 9 „

3) Neugeb. Mädchen L. Schulter „ „ 7,5 „

Ein Bild des Dehnungsverlaufes giebt folgendes Beispiel: Die Dehnungen wurden durch zwei (innen und aussen) eingesteckte Nadelpaare gemessen.

Frühere Versuchs-Nr. 1.

Neugeborenes Mädchen 3600 gr schwer.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm
1	0	
2,5	1,35	1,35
3,5	1,45	0,1
4,5	1,7	0,25
5,5	2,3	0,6
6,5	2,4	0,1
7,3	2,6	0,2
8,3	2,75	0,15
9,3	2,85	0,1
10,3	4,0	0,25

Knistern, nach wenigen Sekunden Epiphysenlösung an der Scapula.

Hebelversuche am Schultergelenk.

Die vorstehend beschriebenen Versuche geben wohl ein Bild von der absoluten Festigkeit der Kapsel, aber sie lassen den Einwand zu, dass sie eigentlich einer Anforderung, die bei Verletzungen im Leben gerade den Chirurgen häufig beschäftigt, nicht Rechnung tragen; indem sie über die Widerstandskraft, welche die Kapsel der Luxation bietet, keinen Aufschluss geben, da hierbei eine nach einer Seite hin gerichtete Hebelbewegung auftritt. Weiter unten soll zwar obiger Einwand widerlegt werden, doch mögen hier einige Versuche mit Hebelwirkung folgen:

Ausgeführt wurden diese Versuche auf einer eigens zu diesem Zwecke zusammengestellten Kreishebelmaschine folgender Construction:

Auf einem Stativ ist eine drehbare wagrechte Spindel (siehe Fig. 3a) B mit einer Drehscheibe A, welche als Hebelrad benutzt wird, aufgestellt. Am Umfang letzterer ist ein Seil befestigt und läuft dieses über dieselbe nach vorn herab um die Drehscheibe und Spindelachse vermittelst der Wagschale und Gewichte in der Richtung der Pfeile nach vorn in Bewegung zu setzen.

Die Drehscheibe wirkt dadurch auf die Spindelachse als ein Kreishebel, dessen Armlänge gleich dem Radius der Scheibe = 9 cm

ist. Am anderen Ende der Spindelachse, mit dieser gleich centrirt, ist eine Planscheibe C angefügt; auf diese wird also obige Kreisbewegung übertragen; sie dient zum Umlegen eines davor in den Klemmbacken E eingespannten Gelenkes. Dieses Umlegen des einen beweglichen Gelenkknochens besorgt ein auf der Planscheibe in verschiedenen Löchern verstellbar (D′; D″) einzuschraubende Mitnehmerstift (D), welcher sich je nach der Länge des Knochens in verschiedenen, messbaren Radien r an denselben anlegt und ihn in der Richtung des Pfeiles von der Gelenkfläche des andern eingespannten Knochens abhebelt. Beim Einspannen des feststehenden Knochens ist darauf zu sehen, dass die Gelenkmitte mit dem Centrum der Spindelachse zusammenfällt (centrirt ist); denn nur dann kann der Radius r (vom Mitnehmerstift zum Centrum der Spindelachse gerechnet) als Hebel für das Gelenk angesehen werden. Wie schon oben bemerkt, wird der Mitnehmerstift je nach der Länge des Knochens an verschiedenen Punkten der Planscheibe eingeschraubt, die Länge des Radius r ist also eine wechselnde, sie wurde aber in allen Versuchen auf eine Einheitsgrösse = 3 cm reducirt.

Die ermittelte Belastungsgrösse nun, die in einem gegebenen Falle nötig ist, um ein Gelenk kreisförmig umzulegen und dadurch die Kapsel in einer bestimmten Richtung nach Art der Luxation zu sprengen, gilt eigentlich nur für den Hebelarm der Drehscheibe A, der dem Radius dieser R = 9 cm entspricht. Um dieselbe für den Radius r = 3 cm der Planscheibe umzurechnen, bedarf es einer einfachen Proportion, indem beim Hebel der Kraftaufwand zur Bewältigung einer gewissen Last im umgekehrten Verhältnis zur Länge des Hebelarmes steht. Ist demnach P die bekannte (durch den Versuch gefundene) Bruchbelastung für den Radius R = 9 cm, P′ die für den Hebelarm 3 cm zu berechnende Last, so ist, weil $P : P' = 3 : 9$, $P' = {}^{9}/_{3}\,P$, also im vorliegenden Fall die am Gelenk wirkende Last immer dreimal so gross wie die am Hebelrad beobachtete.

Bei mehreren anderen Gelenken kam noch eine zweite Maschine, (Fig. 3 b) eine Art von Zughebel zur Anwendung, die später beschrieben wird. (S. 37.)

Bei der Construction dieser Apparate, überhaupt bei der mechanisch zweckmässigen Einrichtung der Gelenk-Einspannungen fand ich warme Unterstützung durch den Assistenten des mechanisch-technischen Laboratoriums H. Conrad Klebe und möchte ich ihm hiefür an dieser Stelle bestens danken.

Das Schultergelenk wurde in den Kreishebel so eingespannt, dass der Oberarmkopf gegen den untern Teil der Kapsel angedrängt und letzterer gesprengt wurde, also gerade so, wie der Kapselriss im Leben erfolgt bei der am häufigsten vorkommenden Luxation nach unten hin, die bekanntlich alsdann ihren Namen erst von der sekundären Stellung des Gelenkkopfes erhält (subcoracoidea u. s. w.).

Wegen der complicirten Form des Schulterblattes musste die Art des Versuches etwas modificirt werden; es wurde nämlich die Hebelkraft nicht am Humerus ausgeübt, wie es im Leben der Fall ist, sondern dieser wurde, da er bequemer zu fassen war, in die Klemmbacken E eingeschraubt, also fixirt und dagegen die Scapula durch den Mitnehmerstift dicht unterhalb des Collum an ihrem äusseren Rand von untenher gefasst und nach obenhin gegen die äussere Seite des Oberarms umgelegt. In der Wirkung blieb ja die Hebelbewegung die gleiche, ob der Humerus an der Scapula oder umgekehrt abgehebelt wurde. Im Beginn der Bewegung hatte der Oberarm zur Schulter eine nach aussen zur Horizontalen erhobene Stellung und war das ganze Gelenk in dieser seitlichen Abduction von 90° so vor der Planscheibe, centrirt mit dieser, eingespannt, dass die äussere Seite des Oberarmknochens zwischen den Klemmbacken nach oben gerichtet war und horizontal verlief. Durch Holz- und Filzbeilagen zwischen den Klemmbacken und Knochenflächen wurde für genügende allseitige Fixation des Humerus gesorgt.

Vergleichende Resultate.

	Hebelversuche Hebellänge 3 cm	Zugversuche
1. 34 jähr. Oekonom, 145 cm Körperlänge, 42 Kgr Körperschwere. Todesursache: Myodegenerat. cordis.	L. Schulter, mit 69 Kgr erfolgte Längsschlitz der Kapsel innen über dem Gelenkkopf.	R. Schulter mit 60 Kgr Kapselriss innen am coll. hum. mit 110 Kgr aussen an d. scap.

	Hebelversuche Hebellänge 3 cm	Zugversuche
2. 26jähr. Taglöhner. Todesursache: Tuberk. pulm. Empyem horac.	R. Schulter, mit 198 Kgr wird die Kapsel innen am coll. humeri halbkreisförm. abgeschält.	Die mittlere Zugbelastung liegt bei 128 Kgr für die innere, 146 Kgr für die äussere Kapselwand.
3. Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt.	R. Schulter, mit 177 Kgr wird die Kapsel innen vom coll. hum. abgeschält.	

Die Resultate zeigen, dass die Bruchbelastung bei den Hebelversuchen sehr abhängig ist von der Art des Bruches; geringer, wenn die Kapsel innen über den andrängenden Oberarmkopf aufgebrochen wird; bedeutender, wenn sie in grosser Ausdehnung sammt Periost innen vom Oberarmhals abgelöst wird; ganz entsprechend den verschieden hohen Zugbelastungen; auch dort entsprach dem Kapselriss innen über dem Oberarmkopf immer die geringere Belastung.

Die Versuche zeigen ferner, dass man auch beim Abhebeln ganz bedeutende Bruchbelastungen erreicht; oft ebenso hoch wie bei dem geraden axialen Zug; sie beweisen also, dass kein so durchgreifender Unterschied zwischen der Zug- und Hebelbeanspruchung ist. Es kommt dies davon, dass nicht starre Gebilde gezogen und gehebelt werden, sondern leicht bewegliche, nach jeder Richtung biegbare Bandfasern.

Bei solchen Kapselbändern ist die Wirkung ganz die gleiche, wie bei einem Seil, ob dieselben gerade in der Längsrichtung oder umgebogen (über eine Rolle, einen Gelenkkopf) beansprucht werden; immer geht es darauf hinaus, dass das aus feinsten Fasern bestehende Gewebe einen Zug erleidet; von einer Biegung, wie bei festen starren Körpern kann nicht die Rede sein.

Allerdings ist ein Unterschied insoferne vorhanden, als beim Abhebeln nicht alle Seiten der Kapsel gleich stark gezogen werden, je nach der Form des Gelenkes können sich gewisse Teile derselben sogar in Stauchung befinden. Von Wichtigkeit ist es, ob die am meisten beanspruchte Stelle die stärkere des Gelenkes ist; es muss also ausser der Gelenkform auch die Verteilung der die Kapsel verstärkenden Bandzüge berücksichtigt werden. Was die Gelenkform anlangt, haben beim Abhebeln auch gewisse Kanten der Gelenkknochen (Knie, Ellenbogen), an denen die Kapsel sich ansetzt,

einen bedeutenden Einfluss. An ihnen wird, weil sie stärker hervorragen, die Kapsel am ehesten abreissen.

Aus solchen Ueberlegungen geht hervor, dass der Kapselriss in jedem einzelnen Falle durch besondere Verhältnisse beeinflusst werden kann.

Es wurde aber doch versucht auf mathematisch-technischem Wege im Allgemeinen eine Uebereinstimmung der Zug- und Hebelversuche herauszufinden; dies ist für die Mehrzahl der untersuchten Fälle auch mit einer nicht erwarteten Genauigkeit gelungen, und ein Einheitswert für die Spannung der Bänder beim Achsenzug und bei der Abhebelung gewonnen.

Bezeichnet man mit S die Zerreissfestigkeit (Zugspannung) eines Gelenkbandes von 1 cm Breite, mit P die der ganzen Gelenkverbindung zukommende Bruchbelastung für den geraden Achsenzug, und mit U den Umfang des mit dem Band umkleideten Gelenkknochens, dann verhält sich die Bruchbelastung zum Umfang des Gelenkes, wie die Zerreissfestigkeit (Zugspannung) jenes Gelenkbandes zu seiner Breite; also

$$\frac{P}{U} = \frac{S}{1} \Big| \; S = \frac{P}{U};$$

ist zum Beispiel: ein Schultergelenk (34jähr. Oekonom, Seite 6) mit 110 Kgr = P abgerissen worden bei einem Gelenkumfang U = 18 cm, so ist $S = \frac{110}{18} = 6{,}1$ Kgr pro 1 cm Bandbreite, bezw. pro 1 cm Gelenkumfang. Der Bruch des Gelenkes ist also durch eine Zugspannung von 6,1 Kgr pro 1 cm des Gelenkumfanges im vorliegenden Falle bewirkt worden.

Beim Abhebeln der Gelenke erfolgt der Bruch ebenfalls durch ein Zerreissen der Bänder (oft sogar in derselben Form wie beim Zug) und zwar stets auf der von der Hebelzugrichtung abgewendeten äussersten Stelle.

Es muss also, wenn eine Uebereinstimmung zwischen den bei Achsenzug und Abhebeln erhaltenen Bruchbelastungen besteht, die Spannung, die unter Berücksichtigung der Hebelwirkung für jene am stärksten beanspruchte Stelle berechnet wird, mit jener erst gefundenen Zugspannung S pro 1 cm (das gleiche Gelenk, die gleiche

Substanz vorausgesetzt) übereinstimmen, was thatsächlich in den meisten Fällen zutrifft.

Zur Berechnung der beim Abhebeln auftretenden Maximalspannung S_{max}, wurde die Formel $S_{max} = \frac{8\pi}{3} \cdot \frac{\mathfrak{M}}{U^2}$ benützt, in welcher $\mathfrak{M}$ das Drehungsmoment, das ist das Produkt aus der Bruchbelastung P mit dem zugehörigen Hebelarm l, und U den Gelenkumfang bedeutet.

Bei der Entwicklung dieser Formel, die ich der Güte des Herrn Prof. Bauschinger verdanke, wurde von der Betrachtung ausgegangen, dass das freie Gelenkstück (a in Fig. 5) gewissermassen einen Winkelhebel b c d bildet, dessen Stützpunkt c in dem oberen Teil des Gelenkes liegt, also der am stärksten gespannten Stelle d gegenüber, und dass von diesem Stützpunkt (Hypomochlion) aus die Spannung des Bandes proportional mit der Entfernung zum entgegengesetzten untersten Gelenkteil d anwachse.

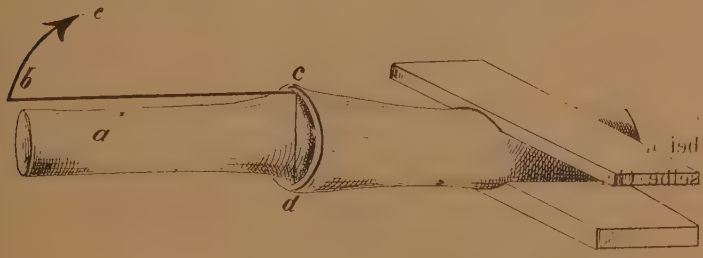


Fig. 5.

Aus diesen beiden erwähnten Formeln

$$S = \frac{P}{U} \quad \text{und} \quad S_{max} = \frac{8\pi}{3} \cdot \frac{\mathfrak{M}}{U^2}$$

ergeben sich für das Schultergelenk bei einem mittleren Gelenkumfang U = 18 cm und einer Hebellänge l = 3 cm folgende Zahlen:

1. Fall: 34jähr. Oekonom

Zug	Hebel	Maximalspannung pro 1 cm des Gelenkumfanges
Bruchbelastung	Bruchbelastung	für Zug / für Hebel
110 Kgr	60 Kgr	6 Kgr / 5,5 Kgr

2. Fall: 21jähr. Fabrikarbeiter

128 Kgr	177 Kgr	7 Kgr / 13,6 Kgr

3. Fall: 26jähr. Taglöhner

128 Kgr	198 Kgr	7 Kgr / 15 Kgr

Die beiden letzten Fälle ergeben sowohl für die Hebelspannung grössere Zahlen als für die Zugspannung; doch ist der Unterschied nicht sehr bedeutend; solche geringe Unterschiede sind in einzelnen Fällen wohl dadurch erklärlich, dass die Beanspruchung für alle Fälle nicht vollkommen die gleiche ist, dass es ferner sehr viel darauf ankommt, ob beim Hebeln an der einseitig am meisten beanspruchten Stelle gerade ein schwacher oder starker Bandteil zum Reissen kommt. Für obige Formeln ist aber angenommen, dass das Band in gleicher Dicke das ganze Gelenk umkleidet. Nichtsdestoweniger gibt der erste Fall gute Uebereinstimmung: S und $S_{mx} = 6$ Kgr im Mittel.

Eine solche Ausrechnung lässt sich nun in folgender Weise verwerten:

Hat man bei einem Gelenk durch geraden Achsenzug in der beschriebenen Festigkeitsprüfungsmaschine die Bruchbelastung gefunden, ist der Umfang des Gelenkes gemessen und damit die Zugspannung S berechnet aus $S = \frac{P}{U}$ so lässt sich unter der Voraussetzung, dass die Hebelspannung der Zugspannung im Allgemeinen bei demselben Gelenke gleich ist, die Hebelbruchbelastung für dasselbe Gelenk für einen bestimmten Hebel berechnen aus der Formel

$$S = S_{mx} = \frac{8\pi}{3} \cdot \frac{P\,l}{U^2}.$$

Sei im vorliegenden Falle $S = S_{mx} = 6$ Kgr, $U = 18$ cm; gesucht sei die Kraft P mit der an einer Hebellänge $l = 30$ cm die Gelenkkapsel durch Luxation gesprengt werde, so ist:

$$6 = \frac{25}{3} \cdot \frac{P\,30}{324}$$

$$6 \cdot \frac{3}{25} \cdot \frac{324}{30} = P = 8 \text{ Kgr.}$$

Es ist dies eine verhältnissmässig geringe Belastung; in Wirklichkeit kann sie wohl höher ausfallen, da ja die Kapsel nicht überall gleich dick ist, das Gelenk nicht von einem gleichmässigen Band umkleidet, sondern durch accessorische Bänder unterstützt wird. Dass durch die Thätigkeit der Muskeln die Gelenkkapsel beim lebenden Individuum vor einer Zerreissung durch so geringe Belastung geschützt wird, ist bereits eingangs erwähnt worden.

Auf obige Uebereinstimmung der Spannungsverhältnisse der einfachen Gelenkkapsel an und für sich wird bei den anderen Gelenken wieder hingewiesen.

Hüftgelenk.

Zugversuche bei Erwachsenen.

Eingespannt wurde unter dem Wagklotz der in Fig. 1 und 2 abgebildeten Festigkeitsprüfungsmaschine die Darmbeinschaufel wie es Fig. 6 zeigt: Eine Seilschlinge umfasste die spina anter. super. und

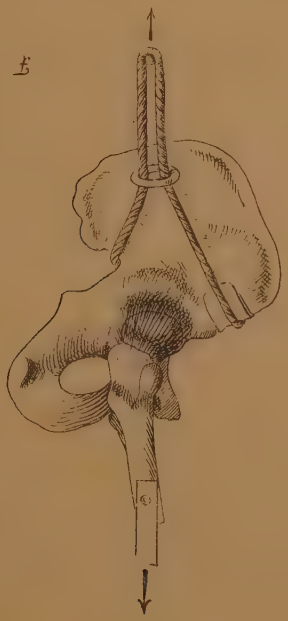


Fig. 6.

poster. super. henkelförmig; die beiden Henkel der Schlinge gingen an der innern und äussern Fläche der Darmbeinschaufel senkrecht nach aufwärts. Unter der Spina anter. super. war, um das Einschneiden des Seiles zu vermeiden, eine Filzunterlage nöthig; ferner mussten,

um das Abgleiten der Seilschlinge zu verhindern, die Henkel innen und aussen unter sich zusammengebunden werden. Der nach unten vom Gelenk herabhängende Oberschenkelknochen wurde im obern Drittel quer durchbohrt, mittelst Stahlbolzens und Laschenkettengehänges mit dem untern Gerüstteil der Maschine verbunden und so gerade nach abwärts gezogen.

Hiebei stellte sich der Oberschenkel immer in denselben Grad einer mässigen Beugung zum Becken, so dass der Oberschenkelknochen mit der hintern Fläche der Symphyse einen nach vorn offenen spitzen Winkel von 70° bildete. Es wurde also gleichsam an der untern Extremität eines auf ebenem Boden liegenden Menschen in einer etwas schiefen Richtung nach vorn aufwärts gezogen.

Bei dieser Art der Beanspruchung wurde allerdings nicht gerade in der Hauptachse des Gelenkes, welche durch die Mitte der Pfanne des Gelenkkopfes führt und in der Längsrichtung des Schenkelhalses verläuft, gezogen; allein sie gewährte doch zwei wesentliche Vorteile: Erstens wurde in einer Körperstellung gezogen, welche der im Leben möglichen Beanspruchung der Extremität auf Zug am nächsten kommt; zweitens wurde dabei gerade der stärkste Teil der Kapsel das ligamentum iliofemorale am meisten beansprucht; denn fast ausnahmslos riss das Gelenk hier entzwei. Ueberdies zeigten vergleichende Versuche von Zug in der Richtung der durch den Schenkelhals gehenden Hauptachse, dass auf diese Weise fast die gleichen Bruchbelastungen erhalten wurden, wie bei obiger Zugrichtung in Beugung des Oberschenkels; letztere Belastungen waren sogar etwas höher. Diese Uebereinstimmung der Bruchbelastungen bei Zug in verschiedenen Richtungen ist aus dem schon beim Schultergelenk erwähnten Grunde erklärlich. Die nach jeder Richtung biegsamen Bänder werden in ihren einzelnen Fasern immer auf Zug beansprucht, ob das Band gerade in seiner Längsachse gezogen oder über eine Rolle (den Schenkelkopf) abgebogen wird.

Jedenfalls wurden durch obige Zugeinspannung in Beugung die höchsten Bruchbelastungen bestimmt.

Art des Bruches:

Die Loslösung der fibrösen Kapsel vom Knochen (namentlich am femur mitsammt grösserer Periostst ücke) geschah meist all-

mälich unter fortwährendem Knistern, schon 5 Kgr vor der Endbelastung. Plötzlich allerdings erfolgte der Aufbruch, wenn Teile des Knochens sammt der Kapsel an ihrem Ansatze vom Becken mit abgerissen wurden.

Der Kapselriss lag vorn teils am Femur teils am Becken, auch an beiden zugleich.

Man konnte einige bestimmte Formen des Kapselrisses unterscheiden.

Unter 19 Fällen wurde:

Vorn an der Spina anter. infer. die Kapsel fünfmal aufgebrochen, öfters mit Knochenstücken von 4—5 cm Umfang am Ansatzpunkt des ligament. iliofemorale in der Gegend jener Spina.

Vorn mehr aussen, ebenfalls am Becken, in 3 Fällen.

Vorn mehr innen, ebenfalls am Becken, in 4 Fällen (unter den letzten 4 Fällen wurde das ligamentum iliofemorale zweimal vom andrängenden Schenkelkopf entzwei gerissen, während in allen übrigen Fällen der Riss gewöhnlich am Ansatz erfolgte; (43jähr. Fabrikarbeiterin; 38jähr. Maurersfrau)

Aussen am obern Pfannenrand in zwei Fällen.

Vorn an der linea obliqua des femur, in querer Richtung halbkreisförmig sammt dem Periost abgelöst, in fünf Fällen.

Am häufigsten erfolgte also Ablösung der Kapsel an den Ansatzpunkten des ligament. iliofemorale und zwar häufiger am Becken als am Schenkelknochen.

Selten durchbrach der Schenkelkopf einwärts vom ligament. iliofemorale den in der Mitte sehr dünnen Teil der Kapsel, welcher in einigen Fällen (5) sogar offen war und mit dem unter dem musculus iliopsoas liegenden Schleimbeutel eine Ausbuchtung der Kapsel bildete. In mehreren Fällen solcher Communication trat der Kapselriss an einer ganz anderen Stelle ein.

Ebenso selten war die Ablösung der Kapsel aussen vom Pfannenrand, obwohl dieser Teil viel dünner ist als das ligament. iliofemorale und beim Zug in Beugestellung des femur nach vorn und unten, wenn sich der untere Umfang des Schenkelkopfes am untern Pfannenrande stützt, sogar etwas Hebelung entsprechend der Länge des Schenkelhalses erfahren muss.

Wenn vom gleichen Individuum das rechte und linke Gelenk geprüft wurde, trat meist bei beiden Gelenken dieselbe Bruchform auf; auch in Bezug auf die Bruchbelastung herrschte Uebereinstimmung (Vers.-Nr. 8 und 9).

Knochenbrüche wurden unter den 19 Fällen sechsmal beobachtet; aber nur Einmal ohne Verletzung der Kapsel (Vers.-Nr. 1 links). Es hatte die unter der Spina anter. infer. herumgelegte Seilschlinge die dünne Darmbeinschaufel eingeschnitten und von vorn nach hinten aufgebrochen.

In den übrigen 5 Fällen wurde die Kapsel auch mit durchgerissen: Einmal wurde der äussere obere Umfang des Pfannenrandes abgebrochen (Vers.-Nr. 8); Viermal die Spina anter. infer. sammt dem Ansatz des ligament. iliofemorale abgerissen: Vers.-Nr. 7. bei einem 32jähr. Weib unter hoher Belastung (600 Kgr); Vers. Nr. 9 rechts und links bei einem 34jähr. Manne (Oekonom) mit sehr spröden Knochen; Vers.-Nr. 8 rechts und links bei einem 74jähr. marantischen Greis; in letzteren 4 Fällen mit geringerer Belastung (400 und 200 Kgr).

Die mittlere Bruchbelastung der Kapsel berechnet sich aus 16 Fällen auf 380 Kgr; die Bruchbelastung der Kapsel überhaupt schwankt zwischen 200 Kgr und 650 Kgr: 200 Kgr bei einem 74jähr. Greis Vers.-Nr. 8; 650 Kgr bei einer 21jähr. Filia publica Vers.-Nr. 1. Wenn daraus auch hervorgeht, dass das hohe Alter einen schwächenden Einfluss hat, so nimmt im Allgemeinen die Festigkeit der Kapsel mit zunehmendem Alter nicht ab; es gibt Gelenke auch bei älteren Individuen, die mehr halten als bei jüngeren (vergleiche Vers.-Nr. 11 und 12). In ähnlicher Weise spricht Vers.-Nr. 1 und 7 mit der hohen Belastung bei einem 21jähr. Mädchen und einer 38jähr. Frau dafür, dass kein deutlicher Unterschied zwischen den Geschlechtern ist. Es spielen hier wie bei vielen andern Gelenken besondere Eigentümlichkeiten eine grössere Rolle (Körperbau, Beruf u. s. w.).

Zwischen rechts und links wurde öfters vollkommene Uebereinstimmung gefunden (Vers. 8 und 4).

Wie beim Schultergelenk wurde auch hier kein wesentlicher Einfluss auf die Bruchbelastung der Kapsel von Seiten der Muskelmassen gesehen:

In Vers.-Nr. 9 wurden bei einem 34jährigen Oekonom am rechten Hüftgelenk alle eingelenkigen Muskeln erhalten, am linken die Kapsel vollkommen frei präparirt und beide auf gleiche Weise in Beugung des Oberschenkels geprüft: jenes trug um 35 Kgr weniger als dieses; der Kapselriss war der gleiche.

Ebenso wenig wurde, wie in der Einleitung schon erwähnt ist, ein Unterschied zwischen conservirten (mit Carbolsäure-Glyzerin-Alkohol nach Prof. Rüdinger injicirten), längere Zeit mit der Fleischhülle aufbewahrten Präparaten und ganz frischen Objecten gefunden:

Vers.-Nr. 12. Linkes Gelenk, 2 Tage nach dem Tode präparirt und geprüft, trug 350 Kgr; rechtes Gelenk, conservirt und sammt den umgebenden Weichteilen 5 Wochen aufbewahrt, alsdann präparirt und geprüft, trug 310 Kgr, bei ganz gleicher Beanspruchung; auch die Art des Bruches war in beiden Fällen gleich.

Die Zusammenstellung der wichtigsten Fälle von Beanspruchung auf Zug in Beugung gibt folgende Uebersicht:

Versuchsnummer		
1. Filia public., 21 Jahre alt, 156 cm lang, 37 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.	R. Hüfte mit 650 Kgr L. Hüfte mit 500 Kgr also L. Kapsel > 500 Kgr (stärker als)	Kapselriss vorn am Becken. Aufbruch der Darmbeinschaufel von vornher in horizontaler Richtung unterhalb der Spina anter. infer. beginnend.
2. Fabrikarbeiterin, 43 Jahre alt. Todesursache: Apoplexia cerebri.	R Hüfte mit 360 Kgr	reisst das ligam. iliofemorale mitten durch. Communication mit dem Schleimbeutel nicht vorhanden.
3. Maler, 41 Jahre alt, 52 Kgr schwer, 155 cm lang. Todesursache: Nephritis.	L. Hüfte mit 380 Kgr	Kapselriss an der Innenseite des Femur; am Innenrand des ligament. iliofemorale (Bertini).
4. Taglöhner, 68 Jahre alt. Todesursache: Marasmus, vitium cordis.	R. Hüfte mit 260 Kgr L. Hüfte mit 250 Kgr	reisst die Kapsel zuerst innen dann aussen am Becken an den Rändern des ligament. iliofemorale. Kapselriss oben aussen am Pfannenrand.
5. Taglöhner, 20 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.	L. Hüfte mit 490 Kgr	Kapselriss vorn halbkreisförmig am Femur.

Versuchsnummer		
6. Maurersfrau, 38 Jahre alt. Todesursache: Phthisis.	L. Hüfte mit 290 Kgr	reisst oben vorn das ligament. iliofemorale.
7. Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt, 150 cm lang, 40,5 Kgr schwer. Todesursache: Tuberkul. Meningitis.	R. Hüfte mit 600 Kgr	Knochenbruch oben an der Spina anter infer. mit Kapselriss.
8. Zimmermann, 74 Jahre alt. Todesursache: Marasmus, vit. cordis Phthisis.	R. Hüfte mit 200 Kgr	Kapselriss oben vorn und aussen mit Abbrechen des knöchernen Pfannenrandes.
	L. Hüfte mit 200 Kgr	Kapselriss oben vorn mit Bruch der spin. ant. infer.
9. Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer, Todesursache: Myodegenerat. cordis.	L. Hüfte mit 435 Kgr ohne Muskeln	ligament iliofemorale vorn oben mit der Spina infer. abgerissen.
	R. Hüfte mit 400 Kgr mit den Muskeln	der gleiche Bruch.
10. Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt. Todesursache: Phthisis.	R. Hüfte mit 300 Kgr	Kapsel mit Periost vorn vom Femur abgelöst.
11. Taglöhner, 55 Jahre alt. Todesursache: Myodegenerat. cordis.	R. Hüfte mit 580 Kgr	Kapselriss aussen an der Pfanne.
12. Hausirer, 39 Jahre alt, 157 cm lang, 56,5 Kgr schwer. Todesursache: Endocarditis.	R. Hüfte mit 310 Kgr (conservirt)	Kapselriss vorn und etwas aussen am Becken.
	L. Hüfte mit 350 Kgr (frisch)	Ebenso.

Weiterhin wurde, um alle Teile der Kapsel gleich stark zu beanspruchen, auch der Zug in der Richtung des Schenkelhalses versucht, also senkrecht auf die Mitte der Pfanne. Zu diesem Zwecke wurde der Schenkelhals da wo er in den Schaft des Femurs einbiegt von vorn nach hinten mitten durchbohrt und durch einen Stahlbolzen mit dem Laschengehänge im untern Teile der Zerreissmaschine fixirt, während das Becken als Ganzes unter dem oberen Wagklotz aufgehängt war so, dass der quere Durchmesser des Beckens vertikal in der Maschine gerichtet war; die Seilschlingen, mit welchen das Becken aufgehängt wurde, liefen deshalb in querer Richtung unten um das Sitzbein oben um die Schaufel (unterhalb der Spina anter. infer.) um das Becken und das Kreuzbein nach hinten und innen.

Es ergab sich aus einigen der Art geprüften Fällen kein erheblicher Unterschied zwischen dieser und der früheren Zugart: z. B.

21 jähr. Fabrikarbeiterin.

Vergleiche früheres Vers.-Nr. 10.

R. Hüfte. Zug in Beugung des Femurs mit 300 Kgr
Kapselriss vorn am Femur.

L. Hüfte. Achsenzug am Schenkelhals mit 350 Kgr
derselbe Kapselriss.

Die Achsenzug-Bruchbelastung ist hier etwas höher als die Bruchbelastung bei Zug am gebeugten Femur, bleibt aber doch hinter der mittlern Bruchbelastung des Zuges am gebeugten Femur (380 Kgr) zurück. Ein Beweis dafür, dass es bei Prüfung der Kapselbänder auf Zug wenig ausmacht, ob das Band längs oder um eine Rolle (den Schenkelkopf) gebogen beansprucht wird, wie dies bereits oben erwähnt worden ist. (Seite 24.)

Anders allerdings liegen die Verhältnisse, wenn ein besonders schwacher Teil der Kapsel stärker beansprucht und gegen ihn der Gelenkkopf angedrückt wird. In solchen Fällen durchbricht der Gelenkkopf die schwache Kapselseite früher: Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn man das Becken mittelst einer Seilschlinge durch das foramen obturatorium (den horizontalen und absteigenden Schambeinast nach oben gewendet) einspannt, während der Oberschenkelschaft mit dem Laschengehänge nach unten gezogen wird.

Hiedurch erfährt die untere und hintere Kapselseite, besonders das ligamentum ischiofemorale, die meiste Beanspruchung schon durch das Andrängen des Schenkelkopfes.

Der Unterschied ist an einigen Vergleichen deutlich:

Maurersfrau, 38 Jahre alt; Todesursache: Phthisis pulmon.

Frühere Vers.-Nr. 6.

L. Hüfte. Zug in Beugung des Oberschenkels, mit 290 Kgr reisst am Becken vorn das ligament. ilifemorale.

Dagegen

R. Hüfte. Zug in eben beschriebener Weise bei Aufhängen des Beckens an den Schambeinästen nach oben; es reisst mit 210 Kgr die Kapsel an der hintern Seite vom Pfannenrand; der Kopf wird durch einen verhältnissmässig kleinen Querschlitz sofort herausgedrängt.

21jähr. Filia publica, 156 cm lang, 37 Kgr schwer.

Todesursache: Phthisis pulmon.

Frühere Vers.-Nr. 1.

R. Hüfte. Zug in Beugung des Oberschenkels, mit 650 Kgr reisst die Kapsel vorn am Pfannenrand.

L. Hüfte (nachdem durch 500 Kgr bei Zug in Beugung des Oberschenkels die Kapsel nicht gesprengt, auch nirgends eine Verletzung an derselben zu sehen war); auf die letztere Art durch Zug an den Schambeinästen des Beckens beansprucht; es reisst mit 200 Kgr das lig. ischiofemorale am Becken durch.

Prüft man das ligamentum teres nach Eintritt des Kapselrisses auf Längszug allein, indem man den übrigen Teil der noch nicht vollkommen zerrissenen Kapsel durchschneidet, so kommt man nicht über 40 Kgr für das die Verbindung beider Knochen noch vermittelnde runde Band.

Es reisst gewöhnlich bei 15 bis 25 Kgr aus einer der beiden Ansatzflächen allmälich aus. — Oefters wurde es gleich mit dem Bruch der Kapsel abgerissen. (Cruveilhier schon macht die Mitteilung, dass das ligam. teres leicht zerreisslich sei durch einfachen Zug ohne besondere Belastung; vergleiche Henle, Anatomie, 1855, Seite 125).

Die Dehnungen der Kapsel

wurden wiederum durch Markenabmessungen ermittelt und zwar wurde das Mittel aus zwei Abstandablesungen von 3 Marken verwertet: Die obere eine Marke sass möglichst genau in der senkrecht verlaufenden Gelenkzugachse unmittelbar über der Mitte des Pfannenrandes aussen auf der Darmbeinschaufel; von hier wurden die Seiten eines gleichschenklichen Dreiecks gemessen, wovon der eine Schenkel (der hintere) seinen Fusspunkt in einer Marke auf der hintern Fläche des Oberschenkelknochens dicht über der Bolzungsstelle, der andere (der vordere) in gleicher Weise vorn am Femur hatte.

Als Beispiele für den Verlauf der Dehnungen mögen folgende Fälle dienen:

Frühere Vers. Nr. 9. S. 29.

Oekonom, 34 Jahre alt.
42 Kgr schwer, 145 cm lang.

Linke Hüfte.

Markenabstände: vorn 153,8 cm; hinten 152,4 cm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf 0 Kgr	
0 bis 10	6,5			
		3,3	nach 10 Kgr 0,35 mm	
50	9,8			
		2,2	nach 50 Kgr 3,9 mm	
100	12,0			
		0,3	nach 100 Kgr 3,9 mm	
150	12,3			
		1,0	nach 150 Kgr 4,4 mm	
200	13,3			
		0,8	nach 200 Kgr 4,9 mm	ziemlich stetige Dehnungszunahme
250	14,1			
		0,8		
300	14,9			
		0,7		
350	15,6		Das ligam. iliofemorale wird weiss.	
		6,3	nach 350 Kgr 4,9 mm	
400	21,9	bedeutender Zuwachs bis zum Bruch.		

Mit 435 Kgr Kapselriss vorn am Becken mit Bruch der spina anter. infer.

R. Hüfte

(vom gleichen Individuum mit allen Muskeln).

Markenabstände: vorn 189,6 mm, hinten 184,4 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0 bis 10	3		
		6,4	nach 10 Kgr 1,7 mm
50	9,4		
		2,5	nach 50 Kgr 3,5 mm

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
100	11,9		
		2,5	nach 100 Kgr 5,4 mm
150	14,4		
		1,8	nach 150 Kgr 7,2 mm
200	16,2		
		1,4	nach 200 Kgr 7,7 mm
300	17,6		
		4,0	nach 300 Kgr 8,3 mm
400	21,6	bedeut. Zuwachs vor dem Bruch.	

Mit 400 Kgr Bruch wie beim linken Gelenk; aber grössere totale Anfangsstreckung und bleibende Dehnungen wie Links (trotz der Muskeln); die Gesammtdehnung ist die Gleiche.

Im Anfang der Belastung bis zu 50 Kgr ist in allen Fällen die Zunahme der Dehnungen eine grössere, ähnlich wie beim Schultergelenk.

Linke Hüfte.

Frühere Vers.-Nr. 10.

Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt.

Zug in der Richtung des Schenkelhalses (Achsenzug).

Schleimbeutel unter dem muskul. iliopsoas (mit dem Gelenk in Communication) sammt einem Stück des Muskels und der Sehne erhalten.

Marke aussen auf der Darmbeinschaufel und hinten aussen an der Basis des Schenkelhalses nahe dem Trochanter major dicht an der Bolzungsstelle; Abstand der beiden Marken 85,2 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0 bis 10	5,9		
			bei 10 Kgr 0 mm
20	7,0	1,1	
30	7,9	0,9	
40	8,8	0,9	
50	9,1	0,3	Der Gelenkkopf tritt über den Rand der Pfanne. Luft wird in die Kapsel eingesogen.
		1,9	bei 50 Kgr 2,3 mm

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
100	11,0		
			nach 100 Kgr 4,8 mm
120	11,5	0,6	
150_I	12,1		
		0,9	nach 150_I Kgr 6,3 mm
180	13,0		

Mit 200 Kgr reissen einige äusserliche Kapselfasern vorn vom trochanter major ab, ohne dass das Gelenk selbst eröffnet wird.

Das Gelenk trägt noch weiter:

Neue Belastung Kgr		
150_{II}	18,0	5,9
		nach 150_{II} Kgr 10,3 mm

Jene Risse äusserer Kapselfasern durch 200 Kgr bedingten einen Dehnungszuwachs von 5,9 mm zwischen 150_I und 150_{II} Kgr (von 12,1 auf 18,0 mm).

Weitere Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
200	18,6	0,6	
			nach 200 Kgr 10,3 mm
220	19,8	1,2	
250	20,3	0,5	
300	21,6	1,3	
			nach 300 Kgr 11,6 mm
350	23,8	2,2	

Das Periost wird vorn vom Schenkelhals, dem grossen Rollhügel mit der Kapsel (in der Gegend der Linea intertrochanterica) abgelöst sammt Knochenstückchen.

Das ligament. teres wird bei diesem direkten Achsenzug mit 14 Kgr aus dem Schenkelkopf gerissen.

Rechte Hüfte.

Vom gleichen Individuum. Zug am Femur in Beugestellung zum Becken. Schleimbeutel unter dem Muskul. iliacus (in Communication mit der Kapsel) erhalten.

Markenabstände: vorn 113,3 mm, hinten 111,8 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0 bis 10	1,3		
			nach 10 Kgr 0,6 mm
		5,8	
50	7,1		Luft wird in das Gelenk gesogen (wahrscheinlich durch die incisur. acetabuli).
			nach 50 Kgr 2,4 mm
		2,8	
100	8,6		
			nach 100 Kgr 3,7 mm
		2,1	
150	10,7		
		1,1	
200	11,8		
			nach 200 Kgr 5,9 mm
		1,5	
250	13,3		
			nach 250 Kgr 5,9 mm
275	Das Gelenk kracht innerlich; der Wagezeiger sinkt bedeutend.		
		8,2	
300	21,5		
	Der Schenkelkopf wird stark aus der Pfanne gezogen und etwas nach aussen rotirt.		
			nach 300 Kgr 19,0 mm

Bruch der Kapsel an der linea intertrochanterica bei nochmaliger Belastung. Das ligament. teres erscheint bereits aus dem Schenkelkopf gerissen, wahrscheinlich bei dem innerlichen Bruch bei 275 Kgr.

Die beiden letzten Fälle ergeben die fast gleiche Gesammtdehnung bei Zug in Beugestellung und Achsenzug; auch der Zuwachs der Dehnung für die ersten 50 Kgr ist bei letzterer Beanspruchung sehr gross; (auch die gleiche Bruchform in beiden Fällen).

Frühere Vers.-Nr. 12.

Hausirer 39 Jahre alt; zwei Tage nach dem Tode; nicht injicirt mit der Conservirungsflüssigkeit.

L. Hüfte. Zug in Beugestellung.

Markenabstände: hinten 170 mm; vorn 168.2 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0 bis 10	1,2		
			nach 10 Kgr 0 mm
		4,8	
50	6,0	Der Schenkelkopf tritt aus der Pfanne und geht nach der Entlastung nicht mehr zurück.	
			nach 50 Kgr 3,2 mm
		2,5	
100	8,5	sehr gleichmäss. Dehnung für 50 Kgr = 1 mm nach Ausstreckung des Gelenkes im Anfang.	
			nach 100 Kgr 3,6 mm
		1,0	
150	9,5	1,1	
200	10,6		
			nach 200 Kgr 4,5 mm
		1,0	
250	11,6	1,4	
300	13,0		
			nach 300 Kgr 5,4 mm
		1,2	
310	14,2		Innerliches Krachen und etwas Auswärtsrotation d. Schenkelkopfes, keine Verletzung an der sehr gespannten Kapsel sichtbar; vorletzter u. letzter Dehnungszuwachs wegen des Krachens sehr bedeutend.
		1,6	
350	15,8		

Kapselbruch am Becken vorn.

Dieser Versuch an einem frischen, nicht injicirten Object zeigt ganz dieselben Erscheinungen während der Dehnung wie die vorhergehenden an conservirten Präparaten.

Eine Uebersicht der wichtigsten Momente im Verlaufe der Dehnung für mehrerer Fälle geben folgende Zahlen:

Frühere Vers.-Nr.	Stand, Alter etc. des Individuums	Gelenk	Dehnung Gelenkstreckung 10 Kgr mm	50 Kgr mm	mit 100 Kgr mm	Bleibende Dehnung mit 10 Kgr mm	50 Kgr mm	100 Kgr mm	Kapselriss mit Kgr
8	Zimmermann,	R.	0,8	3,3	6,8		0,8	2,4	200 vorn am Becken mit Knochenbruch.
	74 Jahre alt. Tod durch Phthisis pulmon.	L.	1,5	3,8	6,5		2,5	2,6	200 ebenso.
9	Oekonom,	L.	6,5	9,8	12,0	0,7	4	4	435 ebenso.
	34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer. Tod durch Myodegen. cord.	R.	3,0	9,4	11,9	1,7	3,5	5.4	400 ebenso (sammt den Muskeln geprüft).
10	Fabrikarbeiterin,	L.	5,9	9.1	11,0	0	2.3	4,8	350 vorn a. Fem. (Achsenz.)
	21 Jahre alt.	Schleimbeutel unter dem musc. il. R. u. L. in Communicat. mit dem Gelenk bei Nr. 10.							
	Tod durch Phthisis pulmon.	R.	1,3	7,1	8,6	0,6	2,4	3,9	300 vorn am Femur.
12	Hausirer,	L.	1,2	6,2	8,5	0	3,2	3,6	350 vorn und etwas aussen am Becken.
	39 Jahre alt, 157 cm lang, 56,5 Kgr schwer. (nicht injicirt) Tod durch Endocarditis.								

Wo nicht besonders bemerkt (nur bei Nr. 10), verstehen sich die Zahlen für Zug am Oberschenkelschaft in Beugestellung.

Im Allgemeinen lässt sich aus dem Verlauf der Dehnungen bei allen Versuchen (ob in Achsenzug oder bei Zug in Beugung, ob mit oder ohne Muskeln) entnehmen:

dass das Gelenk bis zu 50 Kgr Belastung allmälich eine Streckung erfährt, durch welche der Kopf des Femurs etwas aus der Pfanne entfernt, unter Umständen auch Luft von einer schwachen Stelle der Kapsel aus (Incisura acetabuli, Bursa synovialis muscul. iliac.) eingezogen wird; daher rühren die bedeutenden Dehnungen im Anfang. Die eigentlichen Dehnungen der Kapsel sind geringer, erfolgen später gleichmässig (1 bis 2 mm für 100 Kgr). Der letzte Dehnungszuwachs ist wegen Beginn des Bruches wieder bedeutender. Die Gesammtdehnung der Kapsel ist bedeutend; öfters 20 mm für 300 bis 400 Kgr. Die bleibende Dehnung beträgt wie bei anderen Gelenken ein Drittel bis zur Hälfte der Gesammten. Gesammtdehnung und bleibende sind hier etwas grösser als beim Schultergelenk.

Hebelversuche am Hüftgelenk.

Diese wurden in einem andern als den beim Schultergelenk verwendeten Apparate ausgeführt. Es war dies die Zughebelmaschine, welche nach Fig. 3b aus einem eisernen Winkel, AB (einer Console) bestand. Dieser war an einer Wand des Laboratoriums bei B mit einer Schraubenachse drehbar befestigt, so dass die obere plane Fläche in einem bestimmten Winkel zur Horizontalen fixirt werden konnte.

Auf dieser Ebene wurde in den Laschen E der eine Gelenkknochen festgeschraubt, während der andere freibewegliche bei D mit Hilfe eines senkrecht darüber an der Decke des Laboratoriums angebrachten Differentialflaschenzuges als Hebel gezogen wurde. Die Hebelzugwirkung fand demnach in der Richtung des Pfeiles DC statt; an einem in dieser zwischen Hebel und Flaschenzug eingeschalteten Federdynamometer konnte die ausgeübte Kraft sofort abgelesen werden.

Die Einspannung geschah ähnlich wie beim Schultergelenk in der Weise, dass der Oberschenkelknochen, als der leichter festzu-

haltende, eingeschraubt, der Zug also an dem Becken ausgeübt wurde; und zwar kam die innere Seite des Femur nach oben zu liegen, die ziehenden Seilschlingen lieten oberhalb des Gelenkes um die Aussenfläche der Darmbeinschaufel und unterhalb des Gelenkes durch die Incisura ischiadica um das Sitzbein. Der Femur war zum Becken extrem gebeugt, so dass er mit der Innenfläche der Symphyse einen Winkel = 10° bildete, der Hebelzug hatte also die Richtung der Adduction des Oberschenkels zum Becken. Vermehrt wurde diese Hebelung des Beckens nach vorn und innen noch dadurch, dass nicht in Horizontal-Stellung der planen Consolenfläche A, sondern, nach Drehung ihrer vordern dem Gelenk zugewendeten Seite um 90° nach abwärts, gezogen wurde. Diese Vertikal-Stellung der Console wurde deshalb beobachtet, weil infolge der allmälichen Annäherung des Beckens an die Innenseite des Femur durch die Wirkung des Flaschenzuges sich die Lage des Beckens zur vertikalen Zugachse, somit der Hebelarm etwas änderte und diese Aenderung des Hebels (Verkleinerung) am geringsten war, wenn in obiger Stellung gezogen wurde.

Als Hebel war zu rechnen die Entfernung des Stützpunktes des Schenkelkopfes am vordern Pfannenrand bis zu der Stelle hinten am Becken, wo die ziehenden Seilschlingen sich an das Becken anlegten, also so ziemlich die Entfernung des vorderen Pfannenrandes von der Incisura ischiadica, etwa 9 cm im Mittel.

Angestrengt und geprüft wurde auf diese Weise der hintere, untere (schwächere) Teil der Kapsel, der bekanntlich am häufigsten reisst bei der Luxatio ischiadica und iliaca. (Vergleiche die Leichenexperimente Gellés „Déchirure capsul. d. luxat. d. la hanche; Archives générales de médicine, 1861, Vol. I.)

Es wurde auch versucht durch direkte Belastung des Oberschenkelknochens als Hebel die Kapsel zum Bruche zu bringen: Zu dem Zwecke wurde das Becken in einer grossen Schraubzwinge fixirt, der Oberschenkel sehr stark gebeugt und an diesem als Hebelarm in einer Länge von 30 cm durch eine Wagschale und Eisenplatten eine allmälich gesteigerte Belastung in der Richtung der Adduction vorgenommen. Allein derartige Versuche waren ungemein ermüdend und brachten die Kapsel sogar nach Auflegen

von einer grossen Anzahl von Eisenplatten auf den Hebelarm (im Gewicht von über 120 Kgr) nicht zum Bruch.

Daher bietet es wohl einiges Interesse mehrere mit Hülfe jenes Apparates erlangte Resultate wenigstens zum Vergleich mit den Zugversuchen anzugeben:

Schuhmachersfrau, 32 J. alt, 150 cm lang, 40,5 Kgr schwer.
Todesursache: Meningitis basilar.
Frühere Vers. Nr. 7.

R. Hüfte in Zug (bei gebeugtem Oberschenkel) Kapselriss bei 600 Kgr am Becken vorn.

L. Hüfte in Hebelung Kapselriss bei 300 Kgr quer unten hinten, mitten im ligam. ischiofemorale.

Aus Gelenkumfang U = 20 cm
Hebellänge l = 9 cm

lässt sich mit obigen Belastungen P = 600; P′ = 300 nach den beim Schultergelenk angegebenen Formeln die Spannung für 1 cm Gelenkumfang berechnen und ergibt sich eine Maximalspannung

$$\text{für Zug } S = \frac{P}{U} = 30 \text{ Kgr}$$

$$\text{für Hebel } S_{mx} = \frac{8\pi}{3} \times \frac{P' \times l}{U^2} = 56 \text{ Kgr.}$$

Taglöhner, 55 Jahre alt.
Todesursache: Myodegenerat. cord.
Frühere Vers.-Nr. 11.

R. Hüfte in Zug (bei gebeugtem Oberschenkel) Kapselriss bei 580 Kgr aussen a. d. Pfanne.

L. Hüfte in Hebelung Kapselriss bei 180 Kgr hinten am Schenkelhals in Form eines klein. Längsschlitzes, durch den der Gelenkkopf hervortritt.

Bei demselben Gelenkumfang U = 20 cm und der gleichen Hebellänge l = 9 cm wie im vorigen Versuch berechnet sich hier die Zugspannung S = 29 Kgr
Hebelspannung S mx = 34 Kgr.

Am Schlusse dieser Versuche über das Hüftgelenk seien einige Angaben aus der sehr spärlichen, eingangs schon berührten Literatur erwähnt:

Nach Luschka trägt das ligament. iliofemorale etwa 5 Centner = 250 Kgr und darüber.

Hyrtl erwähnt die Hinrichtung Damien's in Paris, 1757, durch Vierteilen, bei welcher die untern Extremitäten nicht ausgerissen werden konnten, sondern im Hüftgelenk ausgeschnitten werden mussten (Anatom, Lehrbuch. 1878. pg. 395).

Schmid (Form und Mechanik des Hüftgelenkes, Deutsche Zeitschrift f. Chirurg. 5. Bd. 1875) konnte an der Leiche eines 3jährigen Knabens beim Hüftgelenk nach Ausschluss des Luftdruckes infolge Durchbohrung des Pfannenbodens die ganze Gelenkkapsel mit 57,5 Kgr entzweireissen.

Was den auf das Gelenk wirkenden Luftdruck anlangt, so berechneten denselben die Gebrüder Weber (frühere Literaturangabe) auf 11,98 Kgr beim Erwachsenen. Schmid hält diese Zahl nicht für richtig (eben citirte Arbeit über Mechanik des Hüftgelenkes), weil nicht die Area der Gelenkpfanne, sondern die Ebene des Faserringes als Fläche zu nehmen ist, auf welche der Luftdruck wirkt. Darnach findet er eine höhere Zahl = 22,1 Kgr. Experimentell fand er ihn bei einem 45jähr. Individuum = 18 Kgr, bei einem 3jährigen = 4 Kgr; im letzteren Falle ergab die Rechnung = 5,1 Kgr.

Vergleicht man mit diesen Zahlen den Verlauf der Dehnungen in den früher angegebenen Versuchen, so entspricht der ersten Gelenkstreckung, welche nach 10 Kgr bei der Entlastung auf Null, ohne bleibende Dehnung zu hinterlassen, wieder ganz verschwindet, obigen Verhältnissen; d. h. es kann hieraus auf einen Luftdruck von etwa 10 Kgr geschlossen werden.

Zugversuche am Hüftgelenk beim Neugeborenen.

Wegen der Kleinheit und Weichheit der Beckenknochen musste die Einspannung in Klemmschrauben mit Holzbeilagen erfolgen; ähnlich wurde der Oberschenkelknochen eingeklemmt. Die Klemmbacken umfassten die Darmbeinschaufel innen und aussen dicht

oberhalb der Gelenkpfanne in querer Richtung, der Oberschenkelschaft wurde gerade nach abwärts gezogen, so dass also ziemlich die gleiche Zugrichtung in Beugestellung des Oberschenkels zum Becken zu Stande kam, wie bei den Zugversuchen an Erwachsenen.

Es wurden folgende Resultate erhalten:

Neugeborenes Mädchen 3600 gr schwer, 50 cm lang.

R. Hüftgelenk: mit 16,4 Kgr Knorpelablösung des Pfannenrandes aussen und oben; Kapselrisse vorn am Femur und oben aussen an der Pfanne.

L. Hüftgelenk: mit 14,5 Kgr obere Epiphysenlösung am Femur.

Neugeborenes Mädchen 4660 gr schwer, 45,5 cm lang.

L. Hüftgelenk: mit 13,4 Kgr bricht die obere Femurepiphyse; gleichzeitig wird die Kapsel aussen vom Pfannenrand und hinten vom Femur abgelöst. Das ligament. teres mit 2,4 Kgr aus dem Schenkelkopf gerissen.

R. Hüftgelenk: mit 15 Kgr bricht die obere Femurepiphyse.

Neugeborenes Mädchen 1205 gr schwer, 38 cm lang (sehr schwächlich).

R. Hüftgelenk: mit 6,3 Kgr reisst die Symphyse der drei das Becken bildenden Knochen in der Gelenkpfanne selbst durch.

Die Festigkeit der Kapsel ist demnach fast ebenso gross wie die der Epiphysen; kaum etwas grösser.

Die Bruchzahlen liegen beim Hüftgelenk des Neugeborenen etwas tiefer als beim Kniegelenk desselben, wie aus späteren, entsprechenden Versuchen hervorgeht; beim Erwachsenen ist das Verhältniss umgekehrt.

Als Beispiel der Dehnungen während des Zugversuches am Hüftgelenk des Neugeborenen diene folgender Fall.

Neugeborenes Mädchen 3570 gr schwer 50 cm lang.

R. Hüftgelenk:

Die Dehnungen wurden gemessen innen und aussen am Gelenk an einem in das Becken und den Oberschenkelknochen eingesteckten Nadelpaar. Abstand derselben bei Null innen 11,1 mm, aussen 11,0 mm.

Belastung	Dehnung	Dehnungszuwachs	Durch Entlastung auf Null nach Kgr erreichte bleibende Dehnung von
Kgr	mm	mm	mm
0 bis 2	0,3		
		0,3	
3	0,6		
		0,25	
4	0,85		
		0,2	
5	1,05		
		0,2	
6	1,25		
		0,25	
7	1,5		
		0,05	
8	1,55		
			nach 8 Kgr 0 mm
		1,5	
11	3,05		
		1,45	
12	4,5		
		0,9	
13	5,4		
14	Ober. Epiphysenbruch am Femur.		

Die im Anfang beobachteten Dehnungen beruhen auf Gelenkstreckung; dieselbe ist ziemlich bedeutend; noch nach 8 Kgr geht das Gelenk bei der Entlastung wieder ganz zurück. Die Dehnung ist bedeutender als beim Kniegelenk des Neugeborenen (ähnlich auch beim Erwachsenen).

Kniegelenk.

Zugversuche.

Geprüft wurde in der beschriebenen Zerreissmaschine Fig. 1 und 2 in der Weise, dass Femur und Tibia in dem am Gelenk gelegenen Drittel mittelst eines Stahlbolzen von vorn nach hinten senkrecht zur Längsachse durchbohrt und in einem Laschengehänge in den Apparat eingefügt wurden. Die beiden Knochen, welche im obern beziehungweise untern Drittel (Femur) abgesägt waren, wurden also in ihrer Längsrichtung von einander abgezogen. (Fig. 7.)

Durch diesen senkrecht zu den Gelenkflächen gerichteten Zug wurde eine allseitig gleichartige Anspannung der Kapsel erzielt so zwar, dass die am kürzesten gefassten Bänder (d. h. diejenigen, deren jeweilige Ansatzpunkte am Femur und an der Tibia (beziehungsweise fibula) am kürzesten von einander entfernt waren) am meisten beansprucht waren, aber alle Teile der Kapsel gezogen

wurden. Es musste also immer der Teil der Kapsel zuerst reissen, der am kürzesten gefasst und zugleich am schwächsten war. Daraus musste wieder eine gewisse Regelmässigkeit in der Bruchform hervorgehen, auf die unten näher eingegangen wird.

Die Fibula, welche nur als Stützknochen des ganzen Gerüstes nicht als Hauptknochen am Gelenk erscheint, wurde nicht durch ein besonderes Gehänge in den Zug hereinbezogen, sondern durch eine Querschraube (siehe Fig. 7) an der Tibia verankert, so dass der an der Tibia angreifende Zug allerdings auch auf die Fibula sich verteilte. Es sollte dadurch eine der natürlichen Verbindung beider Knochen ähnliche Zusammengehörigkeit derselben erhalten werden, die dadurch verloren gegangen war, dass die Gelenkknochen meist im obern Drittel abgesägt zur Prüfung kamen.

Fig. 7.

Dass diese Verankerung der Fibula zur Prüfung des Gelenkes als Ganzes nothwendig war, obwohl die Fibula nicht als solche am Gelenk beteiligt ist, sondern nur durch das ligamentum laterale extern. mit ihm in Verbindung steht, ging aus einigen Versuchen hervor, in denen nur die Tibia und der Femur von einander abgezogen, die Fibula ohne Verankerung mit dem obern Reste des ligamentum interosseum sich selbst überlassen wurde. In diesen Fällen trat, lange bevor die Kapsel riss, ein Abstreben des freien Endes der Fibula nach aussen um mehr als 5 und 10 cm für 100 und 200 Kgr ein; diese Abweichung nahm mit der Belastung stetig zu, das ligament. interosseum, soweit es bei den im obern Drittel abgesägten Knochen noch erhalten war, wurde allmälich ganz durchgerissen.

Bezeichnete Erscheinung gibt die Bedeutung der Bandverbindung zwischen Tibia und Fibula zu erkennen, indem es sich hier um eine Verspannung, Verstrebung beider Knochen handelt, welche das Auseinanderweichen derselben bei Druck oder Zug verhindern soll: Eine am Kniegelenk nach oben ziehende (oder auch nach unten drückende) Kraft überträgt sich durch das ligamentum laterale

externum teilweise auch auf die Fibula; in halber Länge dieses Knochens äussert sich dieselbe in der Weise, dass sie die Fibula von der Tibia nach aussen (und etwas nach oben) zu entfernen sucht; diesem Bestreben wird am sichersten dadurch widerstanden, dass die Fibula an die Tibia durch Bandfasern gehalten wird, welche in einem nach oben offenen Winkel von 45° an der Fibula inseriren.

Dieselbe Anordnung finden wir in der Mechanik wieder, indem alle eisernen Träger unter einander durch ein solches Gitterwerk von schiefen Bändern (unter einem Winkel von 45°) am sichersten verbunden und verstärkt werden können.

Eine noch mehr vollendete Verstrebung werden wir bei Ulna und Radius wiederfinden.

Dass durch die oben angegebene Verankerung der Fibula bei den Zugversuchen am Kniegelenk das richtige Verhältnis der beiden Knochen zu einander und zum Gelenk hergestellt war, bewiesen die Resultate aus einigen Fällen, in denen die beiden Knochen in ganzer Länge in ihrer natürlichen Verbindung und mit dem Fussgelenk geprüft wurden: Es wurde kein Unterschied in der Bruchbelastung des Kniegelenkes gefunden.

Art des Bruches:

In der beschriebenen Zugrichtung wurden vor Allem die beiden Seitenbänder, dann die hintere Kapselwand, weil sie am kürzesten gefasst sind, beansprucht, das ligament. patellare und der unter diesem liegende Teil der Kapsel wurde so gut wie gar nicht gedehnt; im Gegenteil wurde während des Zuges zu beiden Seiten dieses Bandes und auch hinter demselben durch den von aussen wirkenden Luftdruck die Kapselwand stark eingezogen, die Kniescheibe aber konnte ohne jede Spannung leicht hin- und hergeschoben werden.

In 70% der Fälle riss zuerst das ligamentum extern. vom Femur ab; dann erweiterte sich der Riss nach hinten, indem die Kapsel am hintern Rande der Tibia abgesprengt wurde. In den übrigen Fällen erfolgte der erste Einriss mehr innen hinten an der Tibia. In allen Fällen aber glich der ganze Vorgang einem allmälichen Aufreissen des Gelenkes von hinten (entweder mehr von innen oder aussen) her und zwar löste sich die Kapsel meist in einzelne stärkere und schwächere Züge auf, die teils vom Femur teils von der Tibia nacheinander abgerissen wurden. (Siehe Fig. 8a und b.)

Lange bevor aber diese äussere Ablösung der Kapsel begann, konnte bei der Mehrzahl der Versuche eine merkwürdige innere Zerreissung beobachtet werden. Es streckte sich nämlich im letzten Drittel oder Viertel der Gesammtbelastung (einige Male auch nur wenige Kgr vor dem äussern Bruch) mit ein- oder zweimaligem plötzlichen Ruck das ganze Gelenk, so dass die oben erwähnten Luftdruck-einziehungen der Kapsel ganz verschwanden.

Ursache dieser Erscheinung war, wie aus der sofortigen Eröffnung eines solchen eben gestreckten aber äusserlich noch nicht verletzten Gelenkes und aus der sorgfältigen Präparation der vollkommen aufgerissenen Gelenkkapseln hervorging, die Zerreissung der ligamenta cruciata. Es hatten demnach bis zum Eintritt dieser inneren Zerreissung am Gelenk die ligamenta cruciata einen grossen Teil der Zugbelastung zu tragen. Sie mussten aber, da sie sehr kurz gefasst und schwächer sind als die äussere Kapsel, eher nachgeben. Die äussere Kapsel allein konnte alsdann wieder die gleiche und oft noch eine grössere Zugbelastung tragen als die inneren Bänder.

Der Bruch der innern Bänder war verschieden:

Mehrmals wurde nur das vordere innere Band aus dem Femur herausgerissen, sehr oft aber auch gleichzeitig das hintere von der Tibia ab sammt einem Teil des damit verwachsenen ligamentum popliteum. In mehreren Fällen wurde gleichzeitig der obere Ansatz des hintern, der untere des vordern abgerissen. Knorpelteile wurden dabei immer von den Knochen mitabgelöst; ebenso wurden die halbmondförmigen Zwischenknorpelscheiben an ihren Verwachsungsstellen vor und hinter der Eminentia intercondyloidea der Tibia abgerissen und in die Länge gezogen. (Siehe Fig. 8a und b.)

Knochenbruch wurde bei dieser Beanspruchung auf Längszug nur ein einziges Mal (unter 10 Fällen) beobachtet; es handelte sich um den Femur eines längere Zeit (1—2 Monate) bettlägerigen Phthisikers (34jähr. Taglöhner) (Vers.-Nr, 1); der Bruch erfolgte von hinten her dicht über den Condylen in querer Richtung; der Knochen war sehr porotisch, das Mark fettig degenerirt; die Bruchbelastung war 145 Kgr.

Die mittlere Bruchbelastung aus 10 Fällen Erwachsener berechnet sich auf 315 Kgr für die Gelenkkapsel; auf 238 Kgr mit

Berücksichtigung der Zerreissung der innern Bänder, durch die das Gelenk eigentlich schon verletzt ist.

Bei genu valgum wurde eine etwas geringere Bruchbelastung gefunden; doch war die Bruchform nicht verschieden. Ebenso nahm die Bruchbelastung im vorgerückten Alter (über 50 Jahre) etwas ab. Das Geschlecht machte keinen Unterschied; bei einem 21jähr. Mädchen wurde sogar eine höhere Belastung gefunden als bei einem 34jähr. Mann. (Vers.-Nr. 4 mit 450 Kgr; Nr. 7 mit 300.) Ein erheblicher Unterschied zwischen Rechts und Links stellte sich auch nicht heraus.

Für 10 Gelenke schwankte die Bruchbelastung zwischen 240 Kgr (50jähr. Mann) und 450 Kgr (21jähr. Weib).

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Fälle ergibt folgende Uebersicht:

Versuchsnummer		
1. Taglöhner, 34 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.	R. Knie mit 145,5 Kgr	Bruch des Femur.
2. Arbeiter, 50 Jahre alt. Derselbe	L. Knie mit 255 Kgr R. Knie mit 240 Kgr (valgus)	Kapselriss hinten über der Fibula. Kapselriss hinten innen an der Tibia.
3. Arbeiter, 40 Jahre alt.	R. Knie mit 250 Kgr	Kapselriss vorn über d. Fibula.
4. Filia publica, 21 Jahre alt. 156 cm lang, 37 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis. pulmon.	L. Knie mit 450 Kgr R. Knie mit 350 Kgr (valgus) in $\sphericalangle$ 170°	reisst das ligament. extern. am Femur ab, gleichzeitig hier auch die Kapsel. ebenso das ligament. intern. und Kapselriss innen am Femur. (Siehe Fig. 8a u. b.)
5. Malergehilfe, 41 Jahre alt, 155 cm lang, 52 Kgr schwer. Todesursache: Nephritis.	L. Knie mit 350 Kgr (valgus)	Kapselriss aussen am Femur.
6. Maurersfrau, 38 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.	L. Knie mit 270 Kgr (valgus)	Kapselriss aussen über der Fibula.
7. Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer. Todesursache: Myodegenerat. cord.	R. Knie mit 300 Kgr (valgus $\sphericalangle$ 165°)	Kapselriss hinten an d. Tibia.

Versuchsnummer		
8. Hausirer, 39 Jahre alt, 157 cm lang, 56,5 Kgr schwer. Todesursache: Endocarditis.	L. Knie mit 340 Kgr (2 Tage nach dem Tode, nicht injicirt)	Kapselriss aussen vor u. hinter der Fibula.
	R. Knie mit 340 Kgr (6 Wochen conservirt, injicirt)	gleicher Kapselriss. ligament. inteross. ganz, tibia. und fibula weit unten am Ende gebolzt.

Die Dehnungen am Gelenk

während des Zuges wurden durch Messungen an je zwei Marken innen am Femur und an der Tibia in der Nähe des Ansatzes des Seitenbandes, bezw. aussen an der Fibula und am Femur gefunden. (Siehe die beiden eingekreisten Punkte der Fig. 7).

Der Verlauf der Dehnungen des Kniegelenkes wich in mancher Beziehung von dem bei den übrigen Gelenken ab; folgende Beispiele mögen das Nähere zeigen:

Frühere Vers.-Nr. 4.

Filia publica, 21 Jahre alt.

Todesursache: Phthisis pulmonum.

156 cm lang, 37 Kgr schwer.

Linkes Knie.

Markenabstand bei Null innen 92 mm, aussen 154 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0 bis 10	0,8		
50	2,5	1,7	
			nach 50 Kgr 0 mm
100	3,5	1,0	
			nach 100 Kgr 0,1 mm
150	4,2	0,7	
			nach 150 Kgr 0,2 mm
		0,4	
170	4,6		Knistern im Gelenk.
200	4,95	0,35	
			nach 200 Kgr 0,35 mm
		0,5	
250	5,45		Gelenkspalte vorn stark eingezogen.
			nach 250 Kgr 0,5 mm

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
300	6,1	0,65	
			nach 300 Kgr 0,6 mm
350	6,6	0,5	
390	10,2	3,6	Starkes innerl. Krachen mit plötzlichem Ruck, so dass der Wagezeiger um 3,5 mm sinkt.
			nach 390 Kgr 1,1 mm
400	10,5	0,3	Aeusserlich die Falten der Kapsel verstrichen, sonst keine Veränderung.
430	12,6	2,1	Mit erneutem innerlichen Krachen.
450	Das äussere Seitenband in Strähnen vom Femur abgelöst; kleine Einrisse im ligament. poplit. an der Tibia und über der Fibula.		

Unter allmälicher Abnahme der Belastung erfolgte mit 180 Kgr grosser Einriss hinten an der Tibia im ligament. poplit; mit 100 Kgr wurde das innere Seitenband vom Femur abgerissen.

R. Knie vom gleichen Individuum.

(valgus in $\sphericalangle$ 170°)

Markenabstand innen 182,0 mm, aussen 145,0 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0 bis 10	1,0		
100	3,6	2,6	
			nach 100 Kgr 0,2 mm
150	4,8	1,2	
200	5,0	1,2	
			nach 200 Kgr 0,3 mm
250	5,8	0,8	
300	6,0	0,2	
			nach 300 Kgr 0,7 mm
350	Innerliches Krachen in zwei plötzlich sich folgenden Absätzen; alsdann geht der Bruch unter Sinken des Waghebels sofort auch äusserlich weiter: vor und hinter dem äussern Band reisst die Kapsel über der Fibula durch.		

Mit 110 Kgr wird das innere Seitenband vom Femur mit etwas Knochen vom Ansatzpunkte abgelöst.

Frühere Vers.-Nr. 7.

Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer.

Todesursache: Myodegenerat. cordis.

Markenabstand: innen 158,3 mm, aussen 184,1 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0 bis 10	1,3		
50	3,1	1,8	
			nach 50 Kgr 0,15 mm
100	4,1	1,0	
			nach 100 Kgr 0,6 mm
150	5,0	0,9	
			nach 150 Kgr 0,8 mm
200	5,8	0,8	
			nach 200 Kgr 0,8 mm
		1,1	
250	6,9		Knistern im Gelenk.
			nach 250 Kgr 1,4 mm
		3,3	
270	Innerliches Krachen und Strecken.		
	9,6		
			nach 270 Kgr 2,3 mm
		6,1	
280	15,7	Wiederum innerliches Krachen.	
			nach 280 Kgr 3,3 mm

Mit 300 Kgr Kapselriss hinten an der Tibia. Unter Sinken des Waghebels reissen mit 120 Kgr die Seitenbänder vom Femur ab.

Frühere Vers.-Nr. 8.

Hausirer, 39 Jahre alt, 157 cm lang, 56,5 Kgr schwer.

Todesursache: Endocarditis.

L. Knie.

Markenabstand: aussen 160 mm, innen 147,5 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0 bis 10	1,4		
50	2,4	1,0	
			nach 50 Kgr 0,3 mm

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
100	3,6	1,2	
			nach 100 Kgr 0,3 mm
150	4,5		
200_I	5,0	0,5	
	Nach 1 Minute erfolgt innerlich plötzlicher Ruck; Streckung und starke Einziehung der Kapsel.		
Abermalige Messung:			
200_{II}	8,0	3,0	
			nach 200_{II} Kgr 1,6 mm
		2,2	
250	10,2	Nochmaliges innerl. Krachen.	
			nach 250 Kgr 3,2 mm
		1,8	
300	12,0	Knistern.	
			nach 300 Kgr 3,7 mm
340	Einrisse in der Kapsel vor und hinter der Fibula; Luft wird eingesogen: das Gelenk bläht sich auf.		

Mit 200 Kgr bricht das innere Band von der Tibia mit Knochenteilen ab.

Stellt man die wichtigsten Fälle aus den übrigen Versuchen zusammen, so lässt sich folgende Uebersicht (siehe Tabelle nächste Seite) der Hauptmomente der Dehnung geben.

Aus diesen Beispielen geht hervor, dass die Dehnungen am Knie bei weitem geringer sind als an Hüfte und Schulter; dies kommt daher, dass wir es hier mit einer ganz andern Gelenkart zu thun haben, bei welcher die Knochen viel enger geschlossen aneinander gefügt sind; deshalb ist hier auch keine grössere Gelenkstreckung im Anfang zu bemerken. Aus dem gleichen Grunde folgt, dass die bleibende Dehnung sehr spät auftritt. Das Gelenk ist durch starke Bänder sehr gefestigt und nicht wie die lockere Kapsel beim Schultergelenk auf den Schutz der Muskeln angewiesen.*)

Aus den Versuchen geht ferner hervor, dass die Dehnungs-

*) Schulze (in der eingangs erwähnten Arbeit) erhielt durch permanenten Zug während 24 Stunden in 3 Fällen folgende Diastasen des Gelenkraumes:

bei 25 Pfund 1—1,5 mm
„ 15 „ 1 mm
„ 25 „ 2,5—2 mm.

Beanspruchung auf Achsenzug senkrecht zur Gelenkfläche.

Frühere Vers.-Nr.	Stand, Alter etc. des Individuums	Kniegelenk	Dehnung mit 10 Kgr*) mm	Dehnung mit 100 Kgr. mm	Dehnung mit 200 Kgr mm.	Bleibende Dehnung mit 100 Kgr mm	Art des äusseren Kapselriss und Belastung in Kgr	Innerer Bruch bei Kgr
1	Filia publica, 21 Jahre alt, 156 cm lang, 37 Kgr schwer. Tod durch Phthis. pulmon.	L.	0,8	3,5	5	0,1	Aussen am Fem. mit 450	390
		R. valgus	1,0	3,6	5	0,1	Innen am Femur mit 350	350
3	Arbeiter, 40 Jahre alt.	R.	0,8	3,4	5,2	0,8	Auss. üb. d. Fib. mit 250	240
5	Malergehilfe, 41 Jahre alt, 155 cm lang, 52 Kgr schwer. Tod durch Nephritis.	L. valgus	0,7	3,1	4,3	0,1	Aussen am Fem. mit 350	280
6	Maurersfrau, 38 Jahre alt. Tod durch Phthis. pulmon.	L. valgus	1,3	3,4	7,4 (nach d. innern Bruch)	0,6	Auss. üb. d. Fib. mit 270	200
7	Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer. Tod durch Myodegen. cord.	R. valgus	1,3	4,1	5,8	0,6	Hinten an d. Tib. mit 300	270
8	Hausirer, 39 Jahre alt, 157 cm lang, 56,5 Kgr schw. Tod durch Endocarditis.	L. frisches Präparat 2 Tage alt	1,4	3,6	5,0 (nach d. innern Bruch)	0,3	Auss. üb. d. Fib. mit 340	200

4*

zunahme (auch die der bleibenden) für die Periode des inneren Bruches sehr bedeutend, sonst aber gleichmässig ist.

Interessant ist die Uebereinstimmung der Grössen für die einzelnen Dehnungsabschnitte bei verschiedenen Gelenken der letzten Tabelle. Zwischen conservirten und frischen Präparaten wurde auch hier kein wesentlicher Unterschied gefunden.

Bemerkt sei noch, dass bei den Messungen an der Aussen- und Innenseite des Gelenkes öfters eine stärkere Zunahme der Dehnungen aussen vorkam (ohne Einfluss der Valgus-Form); möglicher Weise deshalb, weil die fibularen Bänder schwächer waren als die tibialen.

Hebelversuche am Kniegelenk.

Dieselben wurden ausgeführt an dem oben beschriebenen Zughebelapparat (Fig. 3 b) in einer Neigung von 45°. Die Tibia und Fibula wurden mit der vordern Seite nach oben festgeschraubt; am Femur wurde nach der vordern Seite zu mittelst Flaschenzug gehebelt. Es wurde also das Gelenk überstreckt. Bei diesem enggeschlossenen Gelenke konnte durch den vertikal wirkenden Flaschenzug eine thatsächliche Hebelwirkung erzeugt werden: Vorn am Kopfe der Tibia bildete sich das Hypomochlion. Das ligamentum popliteum wurde am meisten beansprucht. Die Länge des Hebels, der, wie oben erörtert, eigentlich einen Winkelhebel (vom Hypomochlion zum beanspruchten Kapselteil und vom Hypomochlion zum Angriffspunkt der Kraft) darstellte, wurde auf eine gemeinsame Grösse = 9 cm reducirt.

Auf diese Weise wurden folgende Zahlen erhalten:

Maurersfrau, 38 J. alt. Tod an Phthis. pulmon.

R. Knie gehebelt: mit 97 Kgr Querbruch des Femurs dicht über den Condylen und Loslösung einzelner Kapselfasern hinten vom Femur.

Vergleich: Frühere Vers.-Nr. 6.

L. Knie vom gleichen Individuum

Achsenzug: mit 270 Kgr Kapselriss aussen an der Fibula.

Oekonom, 34 J. alt. Tod durch myodegenerat. cordis.
Körperlänge 145 cm, Körpergewicht 42 Kgr.
L. Knie gehebelt: mit 157 Kgr kleiner Kapseleinriss hinten an der Tibia; das Gelenk trägt aber noch weiter, bis unter allmälichem Nachgeben.
mit 92 Kgr die inneren Bänder aus ihren Ansatzpunkten und die Kapsel selbst weit abgerissen werden.
Vergleich: Frühere Vers.-Nr. 7.
R. Knie vom gleichen Individuum
Achsenzug: mit 300 Kgr Kapselriss hinten an der Tibia.
Fabrikarbeiterin, 21 J. alt, mittelgross.
Todesursache: Phthisis pulmonum.
L. Knie (valgus i. $\sphericalangle$ 163°)
gehebelt: mit 74 Kgr Kapselriss an den Condylen des Femur hinten; ligam. cruciat. ant. aus der Tibia gerissen. Querbruch des Tibia-Kopfes 3 cm unterhalb der Gelenkfläche.

Berechnet man aus diesen Resultaten vermittelst der Seite 20 entwickelten Formeln die Verteilung der Spannung beim Zug $= S$ und beim Hebeln $= S_{mx}$ bezogen auf den Umfang der Kapsel (resp. beim Hebeln auf den am meisten beanspruchten Punkt derselben), so ergibt sich bei diesem Gelenk eine auffallend genaue Uebereinstimmung dieser beiden Spannungsgrössen in allen beobachteten Fällen:

Ist die Hebellänge $l = 9$ cm,
der Gelenkumfang $U = 25$ cm (im Mittel),
die Formel $S = \frac{P}{U}$ (P das Gewicht für den Bruch beim Zug),
die Formel $S_{mx} = \pi \cdot \frac{8}{3} \cdot \frac{P'l}{U^2}$ (P' das Gewicht für den Bruch beim Hebeln),
so ist bei Maurersfrau, 38 J. alt, berechnet:

P für den Zug	P' für Hebel	S für Zug auf 1 cm Gelenkumfang	S_{mx}
R. 270 Kgr	L. 97 Kgr	11 Kgr	11 Kgr

bei Oekonom, 34 J. alt:

P für den Zug	P′ für Hebel	S für Zug auf 1 cm Gelenkumfang	S_{mx}
R. 300 Kgr	L. 157 Kgr	12 Kgr	7 Kgr
	resp. 92 Kgr (eigentl. vollkomm. Gelenkbruch)		resp. 11 Kgr

bei 21jähr. Fabrikarbeiterin:

L. 74 Kgr 9 Kgr

Aus den Mittelzahlen für Zug P = 238 (innerer Bruch)
= 315 (äusserer Bruch)
berechnet sich im Mittel S = 9 für den innern
bezw. = 12 Kgr für den äussern Bruch.

Die Zug- und Hebelspannungen liegen also sehr nahe zusammen und ergeben 9 bis 12 Kgr für 1 cm Gelenkbandbreite (unter der Voraussetzung, dass bei Hebel und Zug im gleichen Fall auch gleichartige Verteilung des Gelenkbandes vorhanden ist).

Nach obiger Formel für S_{mx} liesse sich, wenn bei einem Achsen-Zugversuch an einem bestimmten Kniegelenk eine Bruchbelastung (z. B. 300 Kgr) gefunden und damit nach Formel $S = \frac{P}{U}$ die Zugspannung = 10 Kgr berechnet ist, auch weiterhin die Last P′ berechnen, mit welcher an einem bestimmten Hebelarm das Gelenk aufgebrochen wird:

Es sei z. B. der Hebelarm l = 20 cm,
der Gelenkumfang U = 25 cm
so ist, da nach obigen Beispielen $S = S_{mx}$ = (annähernd) 10 ist,

$$10 = \frac{\pi}{3} \times 8 \times \frac{P' \times l}{U^2} = \frac{25}{3} \times \frac{P' \times 20}{25 \times 25}$$

$$10 = \frac{25}{3} \times \frac{20}{25 \times 25} \times P'$$

$$\frac{3 \times 25}{2} = P' = \frac{75}{2} = 38 \text{ Kgr.}$$

Die Hebellast P′ für l = 20 cm beträgt also bei Ueberstreckung des Kniegelenks zum Bruch 38 Kgr.

Es lässt sich also wiederum auf diese Weise aus den Resultaten der Zugversuche auf die zum Bruch eines Gelenkes durch Hebelung (Luxation) nötige Last schliessen.

Zugversuche am Kniegelenk beim Neugeborenen.

Es wurde ebenfalls senkrecht auf die Gelenkflächen gezogen; die Knochen vermittelst Holzbeilagen eingeklammert.

Resultate:

Neugeborenes Mädchen, 3600 gr schwer, 50 cm lang:

R. Knie mit 20 Kgr } Ablösung der untern Femurepiphyse und
L. Knie mit 16 Kgr } Eröffnung der Bursa subcrural. oben vorn.

Neugeborenes Mädchen, 4660 gr schwer, 45,5 cm lang:

R. Knie mit 19,5 Kgr
L. Knie mit 22 Kgr } die gleiche Epiphysenlösung.

Neugeborenes Mädchen, 38 cm lang, 1205 gr schwer, ein sehr schwächliches Kind.

Am R. Knie reisst mit 10,5 Kgr die untere Femurepiphyse ab.

Des Vergleiches halber sei noch ein Fall von einem 1jähr. (schwächlichen) Mädchen erwähnt; hier riss

mit 26 Kgr am L. Knie der Oberschenkelknochen etwas oberhalb der untern Epiphyse mehr schief als quer ab.

Es geht daraus hervor, dass die Festigkeit des Kniegelenkes beim Neugeborenen höher liegt als die der untern Femurepiphyse, deren Festigkeit ungefähr bei 20 Kgr gelegen ist.

Als Beispiel der Dehnungen während der Zugversuche diene der Fall vom neugeborenen Mädchen, 3570 gr schwer, 50 cm lang.

R. Kniegelenk.

Markenabstände aussen am Femur und an der Fibula, innen am Femur und an der Tibia durch eingesteckte Nadeln fixirt;

innen 14 mm Abstand,
aussen 18 mm Abstand.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm
0 bis 2	0,2	0,2
3	0,4	0,1
4	0,5	0,2
5	0,7	

Belastung Kgr	Dehnuug mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	
6	0,8		
7	0,9	0,1	
8	0,9	0,1	
9	1,0	0,0	Entlastet auf Null nach 7 Kgr: Bleibende Dehnung 0 mm.
10	1,2	0,1	
11	1,2	0,2	
12	1,3	0,1	
13	1,3	0	
14	1,4	0,1	
15	1,4	0	
16	1,5	0,1	
17	1,6	0,1	
18	1,8	0,2	
19	1,9	0,1	
20	2,05	0,15	
21	Bruch der untern Femurepiphyse.		

Die Dehnungen sind beim Kniegelenk des Neugeborenen ebenfalls gering, wie beim Erwachsenen; sie treten auch spät als bleibende auf.

Fussgelenk.

Zugversuche bei Erwachsenen.

Der Zug wurde ausgeübt mit der beschriebenen Werder'schen Hebelwage (Fig. 1 und 2) in der Weise, dass der ganze Fuss (in horizontaler Richtung mit der Fussspitze gerade nach vorn stehend gedacht) mittelst einer über Fussrücken und Haken (Ferse) greifenden Halfterschlinge senkrecht nach unten in der Längsachse des Unterschenkels gezogen wurde (Fig. 9). Mit jener Halfterschlinge wurde der Fuss in der untern Schraube der Wage gehalten, während der zum Talocrural-Gelenk senkrechte Gegenzug nach oben in der Längsachse der Tibia von einem Laschengehänge besorgt wurde; dieses verband das im untern Drittel abgesägte und quergebolzte Ende der Tibia mit dem obern beweglichen Wagklotz.

Die Fibula war ähnlich, wie es am Kniegelenk geschehen war, an der Tibia verankert: Eine Schraube als Ersatz des liga-

mentum interosseum stellte die Verbindung der beiden abgesägten Knochenstücke miteinander her. Um der Wirkung der natürlichen Verbindung möglichst nahe zu kommen wurde die Fibula auch nur soweit an die Tibia herangeschraubt (und durch eine Holzzwischenlage gestützt) als die Breite des ligamentum interosseum es verlangte. Diese Verankerung war aus den beim Kniegelenk erörterten Gründen nöthig: wurde dieselbe unterlassen, so zog während des Versuches das ligamentum laterale

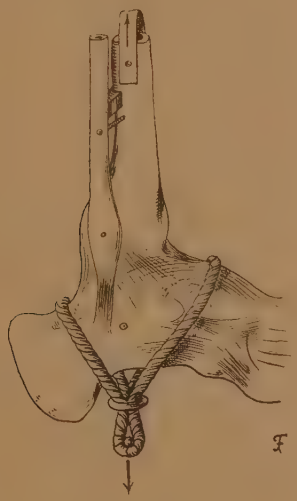


Fig. 9.

externum des Fussgelenkes fortgesetzt an der Fibula (am malleolus externus) wie an einem Doppelhebel, infolge dessen das andere Ende dieses Doppelhebels (das freie Ende der Fibula) immer mehr abstrebte.

Einmal kam der ganze Unterschenkel mitsammt dem Kniegelenk, also die beiden Unterschenkelknochen in ihrer natürlichen Verbindung zum Versuch. Hiebei wurde im Vergleich zum Fussgelenk der andern Seite, bei welcher die Unterschenkelknochen im untern Drittel abgesägt waren, eine Vermehrung der Bruchbelastung um 60 Kgr gefunden (39jähr. Hausirer, L. Fussgelenk (Tib. und

Fibula abgesägt) 250 Kgr; R. Fussgelenk (Tib. und Fibula mit dem Kniegelenk erhalten) 310 Kgr).

Diese grössere Tragfähigkeit rührt wohl von der auf natürlichem Wege gebildeten vollkommeneren Verspannung der Gelenkknochen unter sich her.

Da bei der eben beschriebenen Einspannungsart der Zug senkrecht durch die Gelenkflächen der articulatio talocruralis und zwar durch die Längsachsen beider Unterschenkelknochen zugleich ging, so wurden alle Teile des Kapselmantels gleichartig beansprucht.

Die Versuche geben also wiederum Festigkeitsproben der gesammten Kapsel in einer Mittelstellung des Gelenkes.

Es musste derjenige Teil der Kapsel, welcher wegen kurzer Fassung seines Ansatzes am meisten beansprucht wurde und zugleich der schwächste war, zuerst reissen.

Der Bruch erfolgte meistens ziemlich plötzlich mit Einreissen der Kapsel und Knöchelbruch in querer Richtung aussen oder innen; seltener war das allmäliche Ablösen von der Fibula oder Tibia, noch seltener ein solches von den Fusswurzelknochen.

Meist trat schon lange vor dem Bruch der äussere Fussrand tiefer, es machte sich also etwas Supinationswendung des ganzen Fusses im Talocruralgelenk geltend, indem das ligamentum externum mehr gedehnt wurde; dieses Band bekam dann weiterhin einzelne Längsrisse, der Talus wurde tief herabgezogen, man konnte von aussen her in die weitgedehnte Gelenkhöhle hineinsehen und zum Schlusse riss alsdann meist der innere Knöchel plötzlich an seiner Basis quer ab, der vordere und hintere Teil der Kapsel aber blieb lang gedehnt oft erhalten.

Das äussere Band allein riss in 33 % der Fälle.

Das innere Band (mit oder ohne teilweisem Abreissen auch des äussern Bandes) riss in 50 % der Fälle;

Bruch des innern Knöchels erfolgte dabei in 40 % der Fälle; Bruch des äussern Knöchels erfolgte in 16 % der Fälle (einmal 3,5 cm über dem Ende des malleol. extern. ausserhalb des Gelenkes).

Diese Knochenbrüche traten nicht häufiger bei alten Leuten ein, mehrmals sogar bei Männern (Arbeitern) zwischen 20 und 40 Jahren.

Charpy hat bereits auf die Häufigkeit der Knochenbrüche bei den Processis styloideis (Apophysen) durch den Zug der zugehörigen Bänder oder Sehnen aufmerksam gemacht (Revue de Chirurgie citat. loco): „Es kommen hier ebenso oft Knochenbrüche als Bandzerreissungen vor je nach der verschiedenartigen Angriffsweise der Kraft und ihrer Wirkung“ (l'application et l'effet).

Charpy nimmt die Zugfestigkeit des fibrösen Gewebes für 7 Kgr pro 1 □ mm (nach meiner Ansicht ist sie sogar noch höher); ist nun weiterhin die Zugfestigkeit einer compakten Knochenrinde etwa 10 Kgr pro 1 □ mm, die der Spongosa aber nur 0,5 Kgr, so lässt sich schon aus diesen einfachen Zahlenvergleichen entnehmen, dass ein aus spongösem Knochengewebe zum grössten Teil bestehender Processus styloideus, wenn er allseitig von einem starken Bande umfasst ist, weniger halten wird als dieses Band; denn letzteres hat einen grösseren Querschnitt als der Processus. So liegen die Verhältnisse für den Bruch des malleolus externus (fibulae) in den Fällen, in welchen das äusserste Ende desselben mitsammt dem Bande abgerissen wurde.

Beim Bruch des malleolus internus können noch andere Verhältnisse mitspielen: Ist nämlich während des Zugversuches die Bandverbindung der äusseren Fussseite zuerst und mehr gelockert worden, so wird durch die oben erwähnte Supinationsdrehung des Fusses der Talus an den malleolus internus stark angedrängt und so dieser malleolus nicht allein gerade nach unten gezogen, sondern auch etwas nach innen umhebelt (gebogen und geschoben) Dadurch wird sein Bruch sehr begünstigt. Es riss z. B. bei einem 39jähr. Hausirer, nachdem der äussere und hintere Teil der Kapsel bereits gelöst war, der malleolus internus an seiner Basis quer ab (mitsammt dem ligamentum internum) bei 250 Kgr. Der Querschnitt der sehr umfangreichen Bruchfläche des Knochens war etwa 6 □ cm. Hiernach käme auf 1 □ mm Knochenquerschnitt nur eine Bruchlast von 0,4 Kgr. Diese Festigkeit ist für einen Knochen zu gering, als dass man annehmen könnte, der Bruch sei durch reinen Zug erfolgt; der Malleolus wurde vielmehr in oben angedeuteter Weise abgedrückt.

Eine solche Erwägung ist sicher zur Erklärung der Malleolarfracturen durch seitliches Umknicken des Fusses von Belang.

Abgesehen von diesen Malleolarfracturen wurde nur in einem einzigen Falle Bruch des Tibia-schaftes (gleichzeitig mit Einreissen der Gelenkkapsel) erhalten: Es handelte sich um den Unterschenkel eines 40jährigen Mannes, der wegen tuberkulöser Kniegelenksentzündung im Oberschenkel amputirt werden musste. Der Kranke konnte schon über ein halbes Jahr lang die erkrankte Extremität nicht mehr gebrauchen. Der Unterschenkelknochen war infolge dessen stark porotisch. Das Präparat kam 4 Stunden nach der Absetzung mit sammt den Weichteilen zum Versuch. Mit 190 Kgr riss die Tibia in der Mitte nahe der Einspannung ab, die Fussgelenkkapsel zeigte einzelne Risse, doch waren die Seitenbänder noch teilweise erhalten. Im Uebrigen weicht diese Bruchbelastung eines ganz frischen Präparates von der der anderen keineswegs ab.

Bei den Zugversuchen wurde ferner unter 12 Fällen nur einmal Aufreissen des Talo-navicular-Gelenkes, einmal Bruch des Apparatus ligamentos. zwischen Talus und Calcaneus beobachtet. (Ersteres bei einem 34 jähr. Oekonom mit 230 Kgr; letzteres bei einem 41 jähr. Schlosser mit 260 Kgr).

Die Bruchbelastung schwankt bei 12 Fällen Erwachsener (vom 21. bis 55. Jahre) zwischen 100 und 320 Kgr (erstere Belastung wurde gefunden beim Fussgelenk einer 38jähr. Taglöhnerin; letztere beim Gelenk eines 21jähr. Taglöhners. Beide Präparate wurden 2 Tage nach dem Tode (ohne vorherige Injection) geprüft). Das Fussgelenk der Weiber trägt seinem zierlichen Bau entsprechend weniger; hier schwankt die Bruchbelastung zwischen 100 und 180 Kgr (ersteres bei der 38jähr. Taglöhnerin, letzteres bei einer 52jähr. Hausirerin [mit 154 cm Körperlänge und 34,5 Kgr Körpergewicht]). Bei den Männern bewegten sich diese Zahlen zwischen 160 und 320 Kgr (ersteres bei einem 35jähr. Schlosser mit 167 cm Körperlänge und 45 Kgr Körpergewicht, letzteres bei dem 21jähr. Taglöhner).

Die mittlere Bruchbelastung berechnet sich

für Weiber aus 6 Fällen auf 133 Kgr,

für Männer aus 9 Fällen auf 248 Kgr,

für beide Geschlechter zusammen aus 15 Fällen auf 220 Kgr.

Bei gleichen Individuen wurde mehrmals ein Unterschied um etwa 10 bis 20 Kgr zwischen rechtem und linkem Fussgelenk zu

Gunsten des linken gefunden; möglicher Weise hingen aber diese Differenzen von zufälligen kleinen Verschiedenheiten in der Beanspruchung ab.

Nach dem Alter wurde keine durchgreifende Abweichung gefunden: so wurde z. B. erhalten

bei einem 41 jähr. Schlosser L. Fuss Bruch bei 260 Kgr (173 cm Körperlänge, 71 Kgr Körpergewicht);

bei einem 35 jähr. Schlosser R. Fuss bei 160 Kgr (167 cm Körperlänge, 45 Kgr Körpergewicht);

bei einem 52 jähr. Schreiner L. Fuss bei 210 Kgr gebrochen;

bei einem 21 jähr. Taglöhner L. Fuss bei 320 Kgr gebrochen.

Viel wichtiger scheint wiederum die individuelle Körperbeschaffenheit hiebei zu sein.

Eine Uebersicht der wichtigsten Fälle gibt folgende Zusammenstellung:

Versuchsnummer		
1. Maurersfrau, 38 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulm.	R. Fuss mit 100 Kgr	Kapselriss vom mall. intern.
2. Dieselbe	L. Fuss mit 120 Kgr	Kapselriss vom mall. extern. mit Bruch zuerst des mall. ext. dann auch des intern.
3. Hausirerin, 56 Jahre alt, 154 cm lang, 34,5 Kgr schwer. Todesursache: Pneumonie.	L. Fuss mit 180 Kgr	Kapselriss innen mit Knochenstückchen vom mal. int.
4. Schlosser, 35 Jahre alt, 167 cm lang, 45 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis. pulmon.	R. Fuss mit 160 Kgr	Kapselriss am malleol. int. mit Querbruch desselben.
5. Schreiner, 52 Jahre alt. Todesursache: Vit. cordis.	L. Fuss mit 210 Kgr	Kapselriss des ligament. extern. am calcan; Eröffnung des Gelenkes zw. calcan. und talus.
6. Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer. Todesursache: Myodegenerat. cord.	R. Fuss mit 230 Kgr	Kapselriss vorn oben im talonavicular. Gelenk, vorher mit 150 Kgr Quer-Bruch der Fibula 3,5 cm über dem untern Ende.

Versuchsnummer		
7. Dienstknecht, 43 Jahre alt. Todesursache: Phthis. pulm. Empyem.	L. Fuss mit 235 Kgr	Kapselriss innen an der Tibia mit Knöchelbruch innen.
8. Hausirer, 39 Jahre alt, 157 cm lang, 56,5 Kgr schwer Todesursache: Endocarditis.	L. Fuss mit 250 Kgr (frisch, 2 Tage nach dem Tode)	Kapselriss aussen an d. Fibula; dann malleol. intern. quer ab.
9. Taglöhner, 53 Jahre alt. Todesursache: Vit. cordis.	R. Fuss mit 260 Kgr	Kapselriss innen von der Tibia mit Knöchelbruch innen.
10. Schlosser, 41 Jahre alt, 173 cm lang, 71 Kgr schwer. Todesursache: Tuberkul. pulmon.	L. Fuss mit 260 Kgr	Kapselriss aussen am calcan. im Gelenk zwischen Calcan. und Talus.
11. Hausirer (siehe Nr. 8), 157 cm lang, 56,5 Kgr schwer. Todesursache: Endocarditis.	R. Fuss mit 310 Kgr (L. Fuss siehe Nr. 8)	Kapselrisss innen mit Bruch des malleol. intern (Knie und Fuss zusammen mit ganzem ligament. inteross. geprüft; daher die höhere (um 50 Kgr) Belastung R. als L.
12. Taglöhner, 21 Jahre alt. Todesursache: Tuberkul. pulmon.	L. Fuss mit 320 Kgr (frisch 2 Tage nach dem Tode)	Kapselriss innen mit Bruch des malleol. intern.

Die Dehnungen wurden gemessen an Reissnägelmarken, welche aussen und innen, ober- und unterhalb des Fussgelenkes in tibia beziehungsweise fibula und in den Talus eingeschlagen waren. (Siehe Fig. 9 die eingekreisten Punkte.)

Wie beim Kniegelenk so wurde auch hier, aber in noch allgemeinerem und stärkerem Masse, die Beobachtung gemacht, dass die Dehnungen (auch die bleibenden) auf der fibularen Seite grösser waren als auf der tibialen, dass aber trotzdem der vollkommene Bruch des Gelenkes sehr oft auf der Innenseite lag; es kam dies daher, dass die Bänder der fibularen Seite lockerer, nachgiebiger gefasst waren als auf der tibialen, dass die fibulare Gelenkhälfte freier beweglich, streckbarer war als die tibiale (oft um das Doppelte und mehr.)

Eine bedeutende Anfangstreckung des ganzen Gelenkes wurde aber nicht gefunden; es glichen in dieser Beziehung die Verhältnisse mehr denen am Kniegelenk als denen an der Hüfte.

Die Gesammtdehnung war ziemlich bedeutend. Die erste deutliche bleibende Dehnung trat selten unter 10 Kgr ein; gewöhnlich bei 50 und 100 Kgr.

Einige Beispiele mögen das Nähere zeigen:

Wegen der Verschiedenheit der Dehnungen aussen an der Fibula und innen an der Tibia werden beide getrennt angeführt:

L. Fuss.

Frühere Vers.-Nr. 8.

Hausirer, 39 Jahre alt, Todesursache: Endocarditis.

Körperlänge 157 cm; Gewicht 56,5 Kgr.

2 Tage nach dem Tode geprüft.

Messabstände innen 62,4 mm, aussen 90 mm.

Belastung	Dehnung		Dehnungszuwachs (Differenz)		Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr		
	aussen	innen	aussen	innen	aussen	innen	
Kgr	mm		mm				
0 bis 10	1,3	0,8					
			2,6	1,1	0	0	nach 10 Kgr
50	3,9	1,9					
			1,4	0,8	0,2	0,1	nach 50 Kgr
100	5,3	2,7					
			2,0	0,3	0,2	0,1	nach 100 Kgr
150	7,3	3,0	Innerl. Krachen				
(150 II)	(8,1	3,6)	(nach dem Krachen)				
			1,9	1,1	1,3	1,1	nach 150 Kgr
200	9,2	4,1					
			3,9	0,7	2,5	1,8	nach 200 Kgr
250	13,1	4,8					

Mit 250 Kgr reisst das ligam. extern. von der Fibula; dann bricht der Malleol. intern. quer ab (mit 6 □ cm Bruchfläche).

Die Gesammtdehnung beträgt also aussen 13 mm, innen 5 mm, aussen demnach um das Doppelte mehr.

L. Fuss.

Frühere Vers.-Nr. 12.

Taglöhner, 21 Jahre alt, Todesursache: Tuberculos. pulmon.

2 Tage nach dem Tode geprüft.

Messabstände bei Null aussen 77,3 mm, innen 87,4 mm.

Belastung	Dehnung		Dehnungszuwachs (Differenz)		Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr		
	aussen	innen	aussen	innen	aussen	innen	
Kgr	mm		mm				
0 bis 10	3,2	0,6					
			1,2	1,9	1,0	0,6	nach 10 Kgr
50	4,4	2,5					
					1,9	0,6	nach 50 Kgr

Belastung	Dehnung	Dehnungszuwachs (Differenz)	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr
	aussen . innen	aussen . innen	aussen . innen
Kgr	mm	mm	
		1,8 . 0,2	
80	6,2 . 2,7		
		1,1 . 1,1	
100	7,3 . 3,8		Krachen auf der Aussenseite.
		0	2,4 . 0,6 nach 100 Kgr.
120	7,3 . 3,8		
		0,8 . 0,1	
150	8,1 . 3,9		
		0,2 . 0,8	2,5 . 0,6
180	8,3 . 4,7		Krachen.
		1,1 . 0,2	2,9 . 0,9
200	9,4 . 4,9		Luft tritt in das Gelenk.
		2,0 . 0,8	3,7 . 1,0
250	11,4 . 5,7		
		0,6 . 0,5	3,7 . 1,0
280	12,0 . 6,2		
		2,1 . 0,1	4,8 . 1,0
300	14,1 . 6,3		

Bei 320 Kgr reisst mit Malleolarbruch die Kapsel innen, obwohl hier die Dehnungen noch einmal so gering sind als aussen.

R. Fuss.

Frühere Vers.-Nr. 1.

Maurersfrau, 38 Jahr alt, Todesursache: Phthis. pulmon.

Messabstände innen 71,7 mm, aussen 98,9 mm.

Belastung	Dehnung	Dehnungszuwachs (Differenz)	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr
	innen . aussen	innen . aussen	innen . aussen
Kgr	mm	mm	
0 bis 10	0,6 . 4,1		
		3,0 . 0,8	0,5 . 0,8 nach 10 Kgr.
30	3,6 . 4,9		
50	4,8 . 6,9	1,2 . 2,0	Der äussere Fussrand wird nach unten gewendet.
		1,4 . 2,1	1,0 . 1,6 nach 50 Kgr
80	6,2 . 9,0	8,7 . 2,1	Knistern.
90	14,9 . 11,1		Unter fortwährendem Knistern entstehen innen hinten und vorn kleine Einrisse in der Kapsel; damit wird auch innen der Dehnungszuwachs bedeutender.
		0,5 . 0	
100	15,4 . 11,1		5,4 . 1,6 nach 90 Kgr
			10,4 . 2,6

Vers.-Nr. 4.

Tapezierer, 19 Jahre alt, 35 Kgr schwer, 164 cm lang. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Ulna + Radius — mit 130 Kgr Kapselriss a. d. Ulna.
R. Radius — mit 150 Kgr Kapselriss am Radius mit Epiphysenbruch.

Der einzige Fall, bei welchem die beiden Knochen zusammen in natürlicher Verbindung etwas weniger tragen als der stärkere allein.

Vergleiche: Im Ellenbogengelenk nach Einspannung Nr. III (in ganzer Verbindung), vom gleichen Individuum, frühere Vers.-Nr. 3 Seite 89 hielten Radius + Ulna ebensoviel:

L. Ulna + Radius — mit 130 Kgr Kapselriss.
L. Ulna — mit 120 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 5.

Taglöhner, 26 Jahre alt. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Radius + Ulna — mit 250 Kgr Kapselriss an der Ulna mit Bruch des process. styloideus.
R. Radius — mit 200 Kgr Kapselriss volar am Radius.

Vers.-Nr. 6.

Arbeiter in einer Schweizerei, 29 Jahre alt, 171 cm lang, 53 Kgr schwer. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

L. Radius + Ulna — mit 200 Kgr Kapselriss an der Ulna.

alsdann L. Radius bei nochmaliger Belastung — mit 200 Kgr Kapselriss volar am Radius mit Knorpelablösung.

Vergleiche Ellenbogengelenk vom gleichen Individuum:

L. Ulna + Radius (in ganzer Verbindung nach Einspannung III S. 91.) — mit 200 Kgr Radius herausgezogen.
L. Ulna (allein) — mit 160 Kgr Kapselriss innen an der der Ulna.
R. Ulna + Radius — mit 240 Kgr Radius ausgezogen.

(Eingespannt nach Nr. I durch gekuppeltes Laschengehänge in halber Höhe. Vers.-Nr. 10 S. 87.)

R. Ulna (allein) — mit 280 Kgr ligament. intern. an der Ulna abgerissen.

Vers.-Nr. 7.

Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

R. Radius + Ulna mit 140 Kgr das Gelenk volar ganz durchgerissen.

R. Ulna mit Epiphysenbruch am Radius.

Bei Beanspruchung Nr. I (beide Knochen im untern Drittel mit gekuppeltem Laschengehänge beansprucht) waren die Bruchbelastungen folgende:

	Zum Vergleich nach Nr. III beide Knochen in ganzer Verbindung eingespannt
Radius + Ulna im Mittel 100 Kgr	184 Kgr
Radius + Ulna zu höchst 130 Kgr (Vers.-Nr. 4)	250 Kgr
Radius + Ulna zu niederst 80 Kgr (Vers.-Nr. 7)	130 Kgr

Die künstliche Verkuppelung kann demnach auch beim Handgelenk die natürliche Verstrebung nicht ersetzen. Aus der Differenz dieser verschiedenen Bruchbelastungen: 184 — 100 = 84 Kgr kann wiederum auf die Bedeutung des ligamentum interosseum für die Verstrebung geschlossen werden; beim Ellenbogengelenk (siehe S. 87) beträgt diese Differenz 58 Kgr; die Zugversuche am ligament. interosseum der Länge nach (siehe S. 103) ergeben 65 Kgr. Diese 3 Zahlen stimmen also ziemlich zusammen.

Da die beiden Knochen durch das gekuppelte Laschengehänge hier ebenso gleichmässig beansprucht wurden, wie im Ellenbogengelenk, so kam bis zum Bruch an der Ulna auch hier die Hälfte der Belastung auf jeden Knochen (50 Kgr).

Nachdem die Ulna aus dem Handgelenk mit 50 Kgr im Mittel ausgerissen war, trug auch hier der stärkere Knochen, der Radius (wie im Ellenbogengelenk die Ulna), noch bedeutend mehr; er kam in der Bruchbelastung bis zu der Grösse, die bei Beanspruchung Nr. III (beider Knochen ganz in natürlicher Verbindung) gefunden wurde (siehe Seite 94: 184 Kgr), herauf:

	Vergleiche: Bei Beanspruchung beider Knochen in natürlicher Verbindung:
Radius (allein) im Mittel 187 Kgr	Radius im Mittel 181 Kgr
Radius (allein) zu höcht 210 Kgr (Vers.-Nr. 3, Seite 100)	Radius zu höchst 200 Kgr
Radius (allein) zu niederst 95 Kgr (Vers.-Nr. 1, Seite 99)	Radius zu niederst 140 Kgr

Das Ausreissen der Ulna hatte hier im Handgelenk ebenso wenig Einfluss auf die Bruchbelastung des Radius wie im Ellenbogengelenk das Ausziehen des Radius umgekehrt auf die der Ulna.

Diese Mehrbelastung des Radius bei der Einspannung Nr. I (gekuppeltes Laschengehänge im untern Drittel beider Knochen) nach dem Ausreissen der Ulna beweist der Bruchbelastung von Ulna + Radius (100 Kgr) gegenüber wieder, dass nur die ganze natürliche Verbindung von Ulna mit dem Radius die erstere befähigt soviel zu tragen wie der Radius.

Aus dieser Bruchbelastung des Radius zu 187 Kgr und der Hälfte der Bruchbelastung von Ulna + Radius, 50 Kgr, welche der Ulna bei der Einspannung Nr. I (am gekuppelten Laschengehänge im untern Drittel) zukommt, lässt sich das Verhältnis der Tragfähigkeit beider Knochen zu einander im Handgelenk berechnen; Ulna : Radius = 50 : 187 = 1 : 3,7.

Im Ellenbogengelenk war das symetrisch ähnliche Verhältnis Radius : Ulna = 1 : 2, 3 (vergleiche S. 85). Im Ellenbogengelenk ist also die Ulna zweimal stärker als der Radius befestigt; im Handgelenk unter den gleichen Verhältnissen der Radius fast viermal stärker als die Ulna. Die Ulna hat demnach hier, wie schon oben S. 95 erwähnt, zum Gelenk eine viel untergeordnetere mechanische Bedeutung als dort, am Ellenbogengelenk, der Radius.

Nach der Einspannung Nr. I (beide Knochen im untern Drittel in gekuppeltem Laschengehänge beansprucht) wurden folgende Fälle geprüft:

Vers.-Nr. 1.

Filia publica, 21 Jahre alt, 156 cm lang, 37 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

R. Radius + Ulna mit 120 Kgr ligament. ulnar. v. Pyramidenbein abgerissen.

Einziger Fall bei Einspannung Nr. I, in welchem Radius + Ulna mehr trugen als Radius.

R. Radius mit 95 Kgr Radius total aus der Kapsel gezogen.

Vers.-Nr. 2.

Taglöhner, 68 Jahre alt. Todesursache: Marasmus.

L. Radius + Ulna mit 105 Kgr Kapselriss a. d. Ulna.

L. Radius — mit 170 Kgr Kapselriss dorsal am oss. lunat.

Vers.-Nr. 3.

Taglöhner, 53 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Radius + Ulna — mit 130 Kgr Kapselriss an der Ulna mit Bruch des proc. styloid. uln.

L. Radius — mit 210 Kgr Kapselriss volar radial an der Handwurzel.

Vers.-Nr. 4.

Taglöhner, 54 Jahre alt. Todesursache: Myodegener. cord.

L. Radius + Ulna — mit 130 Kgr Kapselriss längs in Strähnen am ulnar. Band.

L. Radius — mit 190 Kgr Kapselriss volar an der Handwurzel.

Vers.-Nr. 5.

Tapezierer, 19 Jahre alt, 164 cm lang, 35 Kgr schwer. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Radius + Ulna — mit 100 Kgr Apophysenlösung des proc. styloid. uln.

R. Radius — mit 190 Kgr Epiphysenlösung des Radius.

Vers.-Nr. 6.

Arbeiter in einer Schweizerei, 29 Jahre alt, 171 cm lang, 53 Kgr schwer. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Radius + Ulna — mit 90 Kgr Kapselriss a. d. Ulna.

R. Radius — mit 200 Kgr Kapselriss volar a. d. Handwurzel, os. lunat. herausgerissen.

Vergleiche frühere Vers.-Nr. 6 (Einspannung Nr. III, Seite 97) beide Knochen in natürlicher Verbindung:

L. Radius + Ulna — mit 200 Kgr Kapselriss am Radius

und vergleiche: beim Ellenbogengelenk (Einspannung Nr. III, Seite 91)

L. Radius + Ulna — mit 200 Kgr.

Vers.-Nr. 7.

Köchin, 24 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Radius + Ulna — mit 80 Kgr Kapselriss an der Ulna mit Bruch des proc. styl.

L. Radius mit 190 Kgr Kapselriss volar am Radius mit Epiphysenbruch desselben. —

Auch die Beanspruchung nach Nr. II (jeden Knochen für sich) ergab mit den früheren Versuchen übereinstimmende Resultate:

Die Bruchbelastung für den Radius wurde auch hier in allen Fällen bedeutend höher befunden als die der Ulna:

Als Beispiele mögen einige Fälle dienen:

Vers.-Nr. 1.

Taglöhner, 54 Jahre alt. Todesursache: Myodegeneratio cordis.

R. Radius mit 165 Kgr Kapselriss volar an der Handwurzel, das os. lunat. herausgerissen.

Vergleiche frühere Vers.-Nr. 4 Seite 100: L. Radius + Ulna (nach Einspannung Nr. I durch Laschengehänge beansprucht im untern Drittel)

trägt 130 Kgr

L. Radius (allein) mit 190 Kgr.

Vers.-Nr. 2.

Blumenmacherin, 21 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Ulna (allein, aber im obern Drittel, eingespannt und mit dem Radius noch durch das ligament. inteross. verbunden) mit 120 Kgr Kapselriss an der Ulna mit Bruch des process. styloid.

alsdann

L. Radius (allein) mit 170 Kgr Kapselriss volar am Radius.

Vergleiche frühere Vers.-Nr. 3 Seite 96 (bei Beanspruchung nach Nr. III): Beide Knochen ganz, in natürlicher Verbindung

R. Ulna + Radius mit 180 Kgr.

Vom letzten Versuch ist die Bruchbelastung der Ulna zu 120 Kgr besonders bemerkenswert; denn nach den früheren Versuchen bei Beanspruchung der beiden Knochen im untern Drittel mit gekuppeltem Laschengehänge nach Nr. I auf S. 98 kommt auf Ulna in halber Höhe nur 50 Kgr, nach Beanspruchung Nr. III auf S. 95 (beide Knochen in ganzer natürlicher Verbindung) kommt auf das unterste Ende der Ulna nur 3 Kgr; also muss die relativ

hohe Belastung von 120 Kgr doch zum grössten Teil dem ligamentum interosseum zugerechnet werden; zieht man davon die mittlere Belastung, welche für die Ulna in halber Höhe früher erhalten wurde: 120 — 50 = 70 Kgr ab, so erhält man wirklich eine Grösse, welche der später erwähnten (S. 103) Bruchbelastung des ligament. interosseum bei Längszug nahe kommt (65 Kgr). —

Zieht man aus dieser dreifachen Beanspruchung des Handgelenkes, die wie beim Ellenbogengelenk durch die Verschiedenartigkeit der beiden Unterarmknochen und die Mannigfaltigkeit des verwendeten Materials bedingt war, einen Schluss, so liegt die **mittlere Tragfähigkeit eines Unterarmes** (in gestreckter Stellung und halber Supination) **für das Handgelenk bei 184 Kgr**, um 15 Kgr höher als für das Ellenbogengelenk. (Siehe Seite 91 und 95.)

Bemerkenswert ist ferner die Häufigkeit von Knochenbrüchen durch Zug am Handgelenk (siehe Seite 93 und 94): an der Ulnaapophyse in 50%, an der Radius-epiphyse in 33% der Fälle. Damit findet das in der Praxis häufige Vorkommen derartiger Knochenbrüche nach Gewalteinwirkungen, welche Hand und Unterarm treffen und sich als Zug oder Dehnung des Handgelenkes in einer bestimmten Richtung äussern, eine Erklärung.

Wie beim Ellenbogengelenk wurde auch beim Handgelenk die Beobachtung gemacht, dass die Bruchbelastung für das weibliche Geschlecht grösstenteils unter dem Mittel blieb.

Das rechte und linke Gelenk wurde einmal gleich stark befunden:

Arbeiter in einer Schweizerei (Vers.-Nr. 6).

Einige Male auch das rechte Gelenk stärker:

Blumenmacherin	(Vers.-Nr. 3)	Einspannung	Nr. III,
„	(Vers.-Nr. 5)	„	Nr. I.
Tapezirer	(Vers.-Nr. 4)	Einspannung	Nr. III,
„	(Vers.-Nr. 2)	„	Nr. I.

Einmal das linke Gelenk stärker:

Taglöhner	(Vers.-Nr. 4)	Einspannung	Nr. I,
„	(Vers.-Nr. 1)	„	Nr. II.

Ligamentum interosseum antebrachii.

Die an demselben vorgenommenen Zugversuche mögen hier folgen, da das Band in so inniger Beziehung zu den beiden eben beschriebenen Gelenken steht.

Es wurde dasselbe der Länge und Quere nach geprüft.

I. Beanspruchung in der Längsrichtung.

Die Prüfung geschah entweder an der Handwurzel und am Oberarm in der schon beschriebenen Weise, nachdem am ganzen bis auf das Hand- und Ellenbogengelenk präparirten Unterarm bereits unten die Ulna aus dem Handgelenk oben der Radius aus dem Ellenbogengelenk gezogen war (nach Einspannung Nr. III), oder an den aus dem Hand- und Ellenbogengelenk ausgelösten Unterarmknochen selbst in folgender Weise: Beide Knochen waren in ihrer natürlichen Verbindung, auch an den obern und untern Gelenkenden erhalten; dicht über den Gelenkenden wurde der Radius unten, die Ulna oben von der volaren zur dorsalen Seite mit einem Stahlbolzen durchbohrt und jeder in ein Laschengehänge eingespannt; vermittelst dieser kamen die beiden Knochenenden in die Zereissmaschine, so dass der Radius nach unten, die Ulna nach oben — jeder Knochen also nach der Richtung der grössten Tragfähigkeit vom andern — abgezogen wurde.

Unter 7 Fällen löste sich sechsmal zuerst die untere quere Verbindung zwischen Ulna und Radius (die dorsalen und volaren Fasern des ligamentum subcruentum); dann wurde allmälich nach aufwärts das Band mit sammt Fasern des Periostes meist von der Ulna abgelöst.

Ein durchgreifender Unterschied in der Bruchbelastung nach Alter und Geschlecht konnte nicht gefunden werden.

Die mittlere Bruchbelastung lag zwischen 65 und 70 Kgr (der erste Beginn des Zerreissens im Mittel bei 65 Kgr).

Die höchste Bruchbelastung war 80 Kgr (Vers.-Nr. 4 und 5).

Die niederste Bruchbelastung war 50 Kgr (Vers.-Nr. 6 und 7).

Die einzelnen Fälle waren folgende:

Vers.-Nr. 1.

Taglöhner, 54 Jahre alt. Todesursache: Myodegenerat. cord.

R. ligament. mit 65 Kgr v. Radius abgeschält.

Vers.-Nr. 2.

Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt, 150 cm lang, 40,5 Kgr schwer. Todesursache: Meningitis.

R. ligament. mit 60 Kgr von beiden Knochen abgeschält.

Vers.-Nr. 3.

Maurer, 53 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

R. ligament. mit 70 Kgr vom Radius abgeschält.

Vers.-Nr. 4.

Tapezirer, 19 Jahre alt, 164 cm lang, 35 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. ligament. mit 80 Kgr von der Ulna gelöst.

Vers.-Nr. 5.

Taglöhnerin, 58 Jahre alt, 151 cm lang, 51 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

R. ligament. mit 80 Kgr untere Gelenkverbindung vom Radius gelöst, ausserdem das Band v. d. Ulna.

Vers.-Nr. 6.

Köchin, 24 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. ligament. mit 50 Kgr von der Ulna abgeschält.

Vers.-Nr. 7.

Taglöhner, 21 Jahre alt.

R. ligament. mit 50 Kgr reisst zuerst die untere Verbindung, dann wie vorher.

Die Bruchbelastung der fibrösen Verbindung beider Unterarmknochen zu 65 bis 70 Kgr im Mittel stimmt sehr gut zusammen mit der beim Ellenbogen- und Handgelenk ausgerechneten Grösse, um welche diese Gelenke bei natürlicher, ganzer Verbindung der beiden Unterarmknochen mehr tragen, als wenn diese beiden Knochen in dem zum Gelenk benachbarten Drittel verkuppelt beansprucht werden. Das verstärkende Moment ist eben jenes Band. Die anatomische Anordnung der Fasern des Bandes spricht schon für seine Aufgabe; dieselben laufen in der Hauptsache nach einer bestimmten Richtung; sie treffen nämlich in einer Neigung unter 45° den

Knochen. Dazu kommt noch am untern Ende beider Knochen eine sehr innige quere, dorsale und volare fibröse Verbindung. — In ähnlicher Anordnung verwendet man in der Bautechnik zur Verstärkung zweier Träger ein Gitterwerk, welches jene unter 45° verbindet.

Es wurden auch einige Fälle geprüft, bei welchen diese Querverbindung nicht mehr erhalten war, indem die Ulna unten, der Radius oben dicht über dem Gelenk abgesägt waren; hiebei wurde nur das ligamentum interosseum der Länge nach beansprucht; die Bruchbelastung schwankte zwischen 50 und 60 Kgr, blieb also etwas unter dem Mittel der Bruchbelastung der ganzen natürlichen Verbindung.

Die Dehnungen des Bandes oder besser die Verschiebungen der beiden Knochen zu einander, welche während dieser Beanspruchung auf Längszug vorkamen, wurden in den meisten Fällen an Marken (Reissnägel mit Körner) gemessen, die an den äussersten Enden der Ulna unten, des Radius oben angebracht waren. Die Verschiebungen, welche sich mit der stetigen Zunahme der Belastung als eine stetig sich verkleinernde Messspannweite äusserten, entsprachen vollkommen den elastischen Erscheinungen, wie sie bei andern Bändern beobachtet wurden. Interessant war es, dass auch nach einer Belastung von 50 Kgr ein vollkommener Rückgang zur Nullstellung durch Entlastung erzeugt werden konnte; es spricht dies für eine bedeutende Elasticität des ligament. inteross.

Als Beispiel möge folgender Fall dienen:

Frühere Vers.-Nr. 5.

Taglöhnerswittwe 58 Jahre alt.

R. ligament. (alle fibrösen Zwischenbänder, auch das lig. annul. rad. erhalten).

Messspannweite 206,7 mm von Radius oben nach Ulna unten.

Belastung Kgr	Abstand mm	Verkürzung mm	Abstand in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr
0	206,7		
		3,5	
10	203,2		
Entlastet			nach 10 Kgr 206,7 mm
0		0,7	
20	202,5	Der untere Teil des lig. inteross. sehr gespannt.	
Entlastet			nach 20 Kgr 206,7 mm

Belastung Kgr	Abstand mm	Verkürzung mm	Abstand in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr
		0,7	
30	201,8		
Entlastet			nach 30 Kgr 206,7 mm
		0,8	
40	201,0		
Entlastet			nach 40 Kgr 206,7 mm
		0,5	
50	200,5	Knistern.	
Entlastet			nach 50 Kgr 206,7 mm

Mit 70 Kgr beginnen sich einzelne Fasern vom untern Drittel des ligament. inteross. an der Ulna abzulösen; der obere Teil des ligament nimmt mit seinem Fasernverlauf quere Richtung an. Mit 80 Kgr löst sich die untere quere Verbindung vom Radius. Die chorda transversalis und das obere Drittel des ligament. inteross. tragen dann noch 46 Kgr.

II. Beanspruchung des ligament. inteross. antebrach. in querer Richtung.

Da sich die zusammenhaltende Kraft des ligament. inteross in eine längs- und quergerichtete Componente zerlegen lässt, von welchen namentlich die letztere dem schon bei den Zugversuchen des Ellenbogengelenkes erwähnten Abstreben des obern Radiusende entgegenwirkt, so ist eine Prüfung der Festigkeit des Bandes in querer Richtung am Platze.

Eingespannt wurde ähnlich wie S. 65 beim ligamentum inteross. cruris jeder der beiden Knochen, indem jeder derselben parallel zu seiner Längsrichtung ungefähr in der Mitte in einen Feilkloben eingeschraubt wurde und zwar wurde der Radius entsprechend seiner grössern Massenansammlung in der untern Hälfte 1 cm unterhalb der Mitte, die Ulna aber entsprechend 1 cm oberhalb der Mitte eingespannt. Es wurden also die beiden Knochen in querer Richtung von einander abgezogen; dadurch wurde eine seitliche bogenförmige Ausbiegung der beiden Knochen erzielt, welche sich bei der Ulna in einem Falle sogar bis zum Bruche steigerte, ohne dass die fibröse Verbindung vollkommen durchriss,

in den übrigen Fällen aber die Bänder zum Reissen brachte; unter 9 Fällen trat fünfmal zuerst Auflösung des Faserngeflechtes des Zwischenknochenbandes in der Mitte ein, in den übrigen Fällen wurde zweimal zuerst die obere, zweimal zuerst die untere quere Verbindung der Gelenkenden durchbrochen. Diese queren Verbindungen zeigten sich auch hier als sehr bedeutend: in einigen Fällen, in denen sie nicht vollkommen erhalten waren, blieb die Bruchbelastung immer geringer als in den anderen Fällen; dieselbe stellte sich auf 75 Kgr gegen 91 Kgr im Mittel bei ganzer natürlicher Verbindung.

Ein besonderer Unterschied dem Alter oder Geschlecht nach wurde hier auch nicht bemerkt.

Jedenfalls ist aber die Festigkeit der Verbindung bedeutender in Querrichtung als in Längsrichtung. Z. B.:

	längs	quer	
Vers.-Nr. 6 u. 3 (weibl.)	50	81 Kgr	Bruchbelastung.
Vers.-Nr. 7 u. 5 (männl.)	50	90 Kgr	(mit 50 Kgr allerdings beginnende kleine Einrisse mitten im Band)
Vers.-Nr. 5 u. 2 (weibl.)	80	102 Kgr	

Das lig. inteross. antebrachii erweist sich auch als stärker denn das lig. inter. cruris.; letzteres bekam nach früheren Versuchen schon bei 40 Kgr Belastung grössere Einrisse.

Folgendes sind die wichtigsten Fälle der Beanspruchung des lig. inteross. antebrachii in querer Richtung:

Vers.-Nr. 1.

Schreiner, 52 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

R. Band: mit 86 Kgr reisst das Zwischenknochenband in der Mitte ein, dann löst sich die untere quere Verbindung.

Vers.-Nr. 2.

Taglöhnerin, 58 Jahre alt, 151 cm lang, 51 Kgr. schwer.

L. Band: mit 101 Kgr. entstehen zuerst Einrisse im untern Drittel des lig. inteross., dann reisst die untere quere Verbindung.

Vers.-Nr. 3.

Köchin, 24 Jahre alt

R. Band mit 81 Kgr erfolgt Aufbruch des Bandes von oben her.

Vers.-Nr. 4.

Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer.

L. Band: mit 61 Kgr erfolgt Aufbruch der oberen queren Gelenkverbindung.

Vers.-Nr. 5.

Taglöhner 21 Jahre alt.

L. Band: mit 50 Kgr kleine Einrisse im Band in der Mitte; mit 90 Kgr reisst die untere und obere quere Verbindung der Gelenkenden.

Vers.-Nr. 6.

Schlosser, 35 Jahre alt, 167 cm lang, 45 Kgr schwer.

R. Band: mit 101,5 Kgr erfolgen Einrisse in das Band im obern und untern Drittel, dann bricht die Ulna in der Mitte durch Biegung noch ehe die obere und untere Gelenkverbindung reissen.

Vers.-Nr. 7.

Taglöhner, 26 Jahre alt.

R. Band mit 80 Kgr reisst in der Mitte in Fasern auf.

Vers.-Nr. 8.

Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt.

R. Band mit 100 Kgr reisst in der Mitte, dann an der untern Gelenkverbindung.

Die Dehnungen des Bandes waren ziemlich bedeutend, ebenso lag die Grenze der vollkommenen Elasticität sehr hoch. Gemessen wurde im obern und untern Drittel (wie am Unterschenkel).

Als Beispiel möge folgender Fall dienen:

Frühere Vers.-Nr. 1.

Schreiner, 52 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

Entfernung der beiden Knochen von einander bei Null-Belastung im obern Drittel 36,5 mm, im untern 38,1 mm.

Belastung Kgr	Entfernung unten . oben mm	Dehnungszuwachs unten . oben mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr unten . oben
0	38,1 . 36,5		
10	38,8 . 37,0	0,7 . 0,5	
Entlastet			0 . 0 nach 10 Kgr
20	39,1 . 37,2	0,3 . 0,7	
		0,9 . 0,3	
30	40,0 . 37,5	Der obere Teil des Bandes weniger gedehnt. Das Ringband gar nicht gespannt.	
		0,1 . 0,2	
40	40,1 . 37,7	0,1 . 0,2	
50	40,2 . 37,9		
Entlastet			0 . 0 nach 50 Kgr vollkommen zurückgefedert.
		0,1 . 0,5	
60	40,3 . 38,4	Knistern.	

Gesammtdehnung nach 60 Kgr: 2,2 mm unten, 1,9 mm oben; dabei ist die Elasticität noch eine vollkommene.

Mit 70 Kgr reisst das Zwischenknochenband im untern Drittel an einer kleinen Stelle in feine Fasern auf; gleichzeitig lösst sich die Verbindung zwischen den obern Gelenkenden; nunmehr spannt sich erst das Ringband.

Mit 85 Kgr reisst der mittlere Teil des Zwischenknochenbandes, ebenso die untere Gelenkverbindung.

Dehnungen der Kapsel am Hand- und Ellenbogengelenk.

Zurückkehrend zu den durch obiges Band zu einem Ganzen vereinigten Gelenken muss noch der durch die Zugversuche veranlassten Dehnungen Erwähnung geschehen.

Im Allgemeinen folgen sie den bei den übrigen Gelenken beobachteten Erscheinungen, haben aber doch den einzelnen Gelenkteilen entsprechend besondere Eigentümlichkeiten.

Der verschieden starken Befestigung der einzelnen Gelenkteile entsprechend erfolgten auch die Dehnungen verschieden:

Das schwächere obere Radius- und untere Ulna-Gelenk wurden viel stärker und viel eher bleibend gedehnt als die beiden andern

Gelenkteile; entsprechend dem Satze, dass ein schwächeres Gelenk mehr und eher bleibend gedehnt wird.*)

Einige Beispiele sollen den Dehnungsverlauf veranschaulichen:

Gemessen wurde nach jeder von 3 zu 3 Minuten erfolgenden Mehrbelastung an Reissnägelmarken die seitlich ober- und unterhalb der Gelenke in den Knochen befestigt waren (z. B. innen am Oberarmknochen und an der Ulna für den ulnaren Ellenbogengelenkteil, innen an der Ulna und am Pyramidenbein für den ulnaren Handgelenkteil).

Eingespannt waren der Oberarmknochen durch Bolzung, die Hand durch Querklammerung, so dass Hand- und Ellenbogengelenk gleichzeitig geprüft wurden. (Siehe Tabelle nächste Seite.)

Aus dem Dehnungsverlauf nachstehender Tabelle erhellt deutlich das symmetrische Verhältnis der obern zu den untern Enden der Unterarmknochen in ihrer Gelenkverbindung; z. B.:

	oben	unten
nach 50 Kgr	mm	
ist die bleibende Dehnung an der Ulna	0,6	1,2
„ „ „ „ am Radius	1,2	0,5
die durch 50 Kgr		
erzeugte Gesammtdehnung an der Ulna	0,9	6,1
„ „ am Radius	7,2	0,5

und so weiter.

Ein zweites Beispiel gibt die gleichen Erscheinungen:

Frühere Vers.-Nr. 6 bei Einspannung III des Handgelenkes.

Arbeiter einer Schweizerei, 29 Jahre alt, 171 cm lang, 53 Kgr schwer. Todesursache: Tuberkulose.

Linkes Ellenbogen- und Handgelenk in natürlicher Verbindung auf Längszug beansprucht: (S. Tabelle S. 113.)

*) In der eingangs citirten Arbeit Schulze's fand ich 2 Versuche von permanentem (24stündigem) Zug mit 8 Pfund:

	radial	ulnar
Diastase im Ellenbogengelenk	2,5	0,1 mm,
Diastase im Handgelenk	3,5	9 mm.

Diese ungleichen Dehnungen, welche den verschiedenartigen Bau der beiden Gelenkseiten kennzeichnen, werden durch meine Zahlen bestätigt.

Linkes Hand- und Ellenbogengelenk (als Ganzes geprüft).

Frühere Vers.-Nr. 4. Einspannung III. Tapezirer, 19 Jahre alt, 35 Kgr schwer, 164 cm lang.

Todesursache: Phtisis pulmon.

Hand:

Belastung Kgr	Dehnung ulnar . radial mm	Dehnungszuwachs ulnar . radial mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung ulnar . radial
0 bis 10*)	2,6 . 0		
		1,5 . 0,2	nach 10 Kgr 0 . 0
20	4,1 . 0,2		
		2,0 . 0,3	nach 20 Kgr 0 . 0
50	6,1 . 0,5		
		2,3 . 1,8	nach 50 Kgr 1,2 . 0,5
80	8,4 . 2,3	Knistern, Ulna gel. unten, Radius gel. oben stark ausgezogen, die Kapsel an ihnen durch den äussern Luftdruck eingedrückt, ligament. inteross. in den obern Fasern schlaff, in den untern stark gespannt; chorda transversal. stark gespannt.	
			nach 80 Kgr 2,7 . 0,8
100	11,7 . 3,0		
		5,6 . 0,1	nach 100 Kgr 6,1 . 0,8
120	17,3 . 3,1	Unter fortwährendem Knistern verschieben sich die beiden Knochen der Art aneinander, dass der Radius unten die Ulna um ein bedeutendes Stück (etwa 2 cm) überragt und die Kapsel an der ulnaren Seite des Handgelenkes stark eingezogen ist; das ligament. inteross. ist jetzt auch im obern Teil stark gespannt.	

Mit 130 Kgr wird volar und ulnar unten von der Ulna die Kapsel gelöst, gleichzeitig der Radius aus dem Ellenbogengelenk gezogen; das ligament. inteross. unten von der Ulna abgerissen.

*) Siehe Anm. Seite 110.

Ellenbogen:

Belastung Kgr	Dehnung ulnar . radial mm	Dehnungszuwachs ulnar . radial mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung ulnar . radial
0 bis 10*)	0,5 . 1,9		
		0,3 . 1,2	nach 10 Kgr 0 . 0
20	0,8 . 3,1		
		0,1 . 4,1	nach 20 Kgr 0,5 . 1,1
50	0,9 . 7,2		
		0 . 2,3	nach 50 Kgr 0,6 . 1,2
80	0,9 . 8,5		
		2,8 . 2,7	nach 80 Kgr 1,2 . 1,8
100	3,7 . 11,2		
		0,8 . 4,2	nach 100 Kgr 1,2 . 2,9
120	4,5 . 15,4		

Mit 130 Kgr wird der Radius oben aus dem Ringband herausgezogen; die obern Fasern des ligament. inteross., die ursprünglich schief zum Radius aufsteigen, sind nunmehr quer gespannt und tragen mit der chorda transversalis als Rest der Verbindung zwischen Radius und Ulna noch 80 Kgr, damit reissen die oberen Fasern des Zwischenknochenbandes; zuletzt wird mit 50 Kgr die chorda von der Ulna gerissen und damit jede Verbindung zwischen Radius und Ulna gelöst.

Aus dem allmälichen Bruch der einzelnen Verbindungen des Unterarmes aus Tabelle letzter Seite lässt sich auf Fig. 12 die Verteilung der Bruchbelastungen für die einzelnen Teilverbindungen folgendermassen übertragen:

Radius + Ulna tragen am untern Handgelenkende . . 130 Kgr
Radius + Ulna tragen am obern Ellenbogengelenkende . 130 „
Radius allein trägt dann noch unten an der Hand . . 150 „
Ulna allein trägt dann noch oben am Ellenbogen . . 130 „

und zwar sind bei Radius + Ulna = 130 Kgr alle Verbindungen noch erhalten: a + b + c + d (siehe Fig. 12);

nach Durchreissen der Verbindungen a und b geht die Ulna aus dem Handgelenk, der Kopf des Radius schlüpft durch das wenig gespannte Ringband nach unten heraus (mit 130 Kgr);

alsdann tragen die übrigen Teilverbindungen von Radius + Ulna nämlich c und d noch 80 Kgr;

der letzte oberste Rest d zum Schlusse noch 50 Kgr.

Zugversuche am Hand- und Ellenbogengelenk Neugeborener.

Die Prüfung wurde in der Art gemacht, dass die Hand und der Oberarm mit Holzbeilagen in Eisenklammern, wie bei andern Gelenken schon erwähnt, eingespannt und so beide Gelenke zugleich geprüft wurden; war einer der Knochen aus einem Gelenk ausgerissen worden, so wurden die übrigen Gelenkteile ebenfalls durch Einklammerung der betreffenden Knochen (Radius oder Ulna) weiter geprobt.

Die Resultate waren folgende:

Vers.-Nr. 1.

Neugeborenes Mädchen, 3600 gr schwer, 50 cm lang.

Im rechten Ellenbogengelenk:

Radius + Ulna mit 7,5 Kgr Kapselriss vorn am process. coronoid. durch das ganze Gelenk.

Im rechten Handgelenk:

Radius + Ulna (oben quer beide hoch geklammert) mit 11,5 Kgr Epiphysenbruch der Ulna.

Im rechten Handgelenk:

Radius (allein hoch oben geklammert) mit 14 Kgr Epiphysenbruch.

Eigentümlich war es also dem Gelenkbruch auf der radialen Seite, dass die Gelenkkapsel selbst eigentlich wenig verletzt wurde, das ligamentum externum sammt dem damit verwachsenen ligam. annulare erst beim Gelenkbruch auf der ulnaren Seite durchgerissen wurde. (Siehe Vers.-Nr. 2 und 6 nach Einspannung Nr. I.)

Der Kapselriss an der Ulna erfolgte bei viel höherer Belastung meist zuerst innen am ligament. intern. (etwas nach vorn oder seltener hinten): unter 21 Fällen 18 mal und zwar wurde bei der Einspannung

nach Nr. III (beide Knochen ganz zusammen): unter 7 Fällen 6 mal die Kapsel innen von der Ulna am ligament. intern. abgelöst;

nach Nr. I (beide Knochen im obern Drittel gebolzt): unter 10 Fällen 8 mal ebenfalls am ligamentum intern. (5 mal von der Ulna; einmal quer in der Mitte, 2 mal in Strähne der Länge nach auseinander gezogen);

nach Nr. II (jeder Knochen für sich beansprucht) unter 4 Fällen 4 mal ebenfalls am lig. intern. (2 mal am vordern Rande desselben an der Ulna, 1 mal in Strähne längs aufgelöst, 1 mal vom Humerus abgerissen).

Bei den übrigen 3 der 21 Fälle riss 2 mal die Kapsel zuerst aussen (bei Einspannung III, Vers.-Nr. 1: zuerst Kapselriss aussen, dann Bruch des condyl. intern., dann Riss vorn quer durch das ganze Gelenk, ferner bei Einspannung I, Vers.-Nr. 2); einmal riss vorn an der Ulna die ganze Kapsel quer durch (Vers.-Nr. 8, Einspannung I).

Die Bruchbelastung war verschieden hoch bei den drei Einspannungen:

Immer aber war sie für den Radius, wie bereits erwähnt, viel geringer als für die Ulna.

Am geringsten war sie für den Radius bei der Beanspruchung nach Nr. II. (Jeder Knochen für sich allein gezogen.)

Hier konnte, da der im obern Drittel abgeschnittene Radius mit der Ulna nur noch durch die obersten Fasern des ligamentum interosseum und die chorda transversalis mit der Ulna zusammen-

hing von einer Verspannung und gegenseitigen Verstärkung der beiden Knochen nicht mehr die Rede sein. Die hier für Radius und Ulna gefundenen Werte gaben daher auch ein unbeeinflusstes wirkliches Mass für die Tragfähigkeit des Radius beziehungsweise der Ulna an und für sich (abgesehen von der Verstärkung durch die natürliche Verbindung derselben).

Die mittlere Bruchbelastung für den Radius
berechnet sich auf 28 Kgr
die höchste war 40 „
die niedrigste 15 „

Es wurde hiebei auch ein Unterschied der Art gefunden, dass die Bruchbelastung für den Radius immer höher war, wenn er als erster Gelenkknochen beansprucht wurde. Diese Erhöhung kam wohl davon, dass die noch nicht verletzte Gelenkkapsel für den ohnehin nur schwach in derselben befestigten Radiuskopf mehr Schutz bot und die am condylus externus und an der Ulna angewachsene fibröse Umschnürung desselben unter diesen Verhältnissen (bei noch erhaltener Gelenkverbindung zwischen Humerus und Ulna) sich wie ein Knopfloch schlitzförmig um denselben legen und ihn besser zurückhalten konnte.

Für die Ulna wurde (nachdem natürlich der Radius immer schon ausgezogen war)

als mittlere Bruchbelastung gefunden 134 Kgr
als höchste „ „ 230 „
als geringste „ „ 85 „

Demnach ist das Verhältnis der Tragfähigkeit von Radius zu Ulna, was die Gelenkenden an und für sich ohne Verstärkung durch die Verspannung anlangt = 28 : 134 = 1 : 5. Die Ulna trägt also in ihrem obern Drittel absolut (ohne Verspannung) 5 mal mehr als der Radius daselbst.

Dies Verhältnis gibt schon an und für sich einen Ueberblick über die Kraftverteilung auf beide obere Knochenenden.

Interessant ist es nun, im Folgenden zu erfahren, dass dieses Verhältnis durch die eingangs erwähnte Verstrebung verändert wird: schon durch das gekuppelte Laschengehänge (der Beanspruchung nach Nr. I im obern Drittel beider Knochen) wird das Ver-

hältnis auf 1:2,3 gemindert, bei der natürlichen Verbindung der beiden ganzen Knochen (mit ligam. inteross. und subcruentum) aber auf 1:1,5 d. h. das obere an und für sich wenig tragende Radius-Ende wird dadurch auf $^2/_3$ der Tragfähigkeit von der Ulna mit heraufgenommen.

Ein solcher Erfolg der Verspannung ist auch für die Tragfähigkeit des Unterarmes unbedingt nothwendig; denn sonst würde eine Last von mehr als 30 Kgr für gewöhnlich schon eine Ausrenkung des obern Radius-Gelenkes zur Folge haben.

Als Beispiele dieser Einspannungsart nach Nr. II (jeder Knochen für sich gezogen) dienen folgende Fälle:

Vers.-Nr. 1.

Taglöhner, 39 Jahre alt. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Radius (zuerst) allein beansprucht
mit 30 Kgr herausgezogen.

R. Ulna (zuletzt) allein beansprucht
mit 85 Kgr Kapselriss innen
an der Ulna.

Vers.-Nr. 2.

Mann, 45 Jahre alt.

R. Ulna (zuerst) allein beansprucht
mit 85 Kgr Kapselriss innen
am Humerus.

R. Radius (zuletzt) allein beansprucht
mit 15 Kgr herausgezogen.

Vers.-Nr. 3.

Kesselschmied, 32 Jahre alt, 168 cm lang, 54 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis, Carcinom der Leber.

L. Radius (zuerst) allein beansprucht
mit 40 Kgr herausgezogen.

L. Ulna (zuletzt) allein beansprucht
mit 134 Kgr das ligament. int.
längs gerissen.

Vers.-Nr. 4.

Taglöhner, 54 Jahre alt. Todesursache: Myodegen. cordis.

R. Ulna (zuletzt) allein beansprucht
mit 230 Kgr Kapselsriss innen
an der Ulna.

Die Bruchbelastungshöhe bei Beanspruchung nach Nr. I (beide Knochen im obern Drittel gebolzt) gestaltete sich folgendermassen:

Zunächst war das Gewicht, das beide Knochen zusammen bis zum Ausziehen des Radius erreichten, zu berücksichtigen:

Ulna + Radius zusammen hielten

im Mittel . . . . . 111 Kgr

als niederste Belastung (Vers.-Nr. 5 Weib) . . 45 „

als höchste Belastung (Vers.-Nr. 16 Arbeiter) . 240 „

Rechnet man, da durch das mit gleicharmigem Hebel gekuppelte Laschengehänge (wie Fig. 11 zeigt) eine gleichmässige Verteilung der Kraft auf beide Knochen erzielt worden ist, auf den Radius allein im Mittel $\frac{111}{2} = 55$ Kgr, so erhellt daraus, dass bei der gemeinsamen Beanspruchung beider Knochen schon durch das gekuppelte Laschengehänge ein Mehr für den Radius von 23 Kgr (55 Kgr gegen 28 Kgr bei alleiniger Beanspruchung desselben) erreicht worden ist. — Bei ganzer natürlicher Verbindung beider Knochen steigert sich dieses Mehr auf 56 Kgr (Bruchbelastung bei Einspannung Nr. III für den Radius = 84 Kgr, siehe im Folgenden).

Die Bruchbelastung für die Ulna allein (nachdem der Radius ausgerissen war) ergab:

	im Vergleich zur Beanspruchung nach:			
im Mittel . . 127 Kgr	Nr. I (allein) 134 Kgr		Nr. III (ganz) 149 Kgr	
als höchste Belastung . . 280 Kgr (Vers.-Nr. 10)	siehe Seite 82	230 Kgr	siehe Seite 88	220 Kgr
als niederste Belastung . . 60 Kgr (Vers.-Nr. 4: 72jähr. marant. Greis)		85 Kgr		100 Kgr

Die mittlere Bruchbelastung der Ulna übersteigt demnach diejenige für beide Knochen Radius + Ulna zusammen noch um 26 Kgr (127 gegen 111). Bei der folgenden Beanspruchung beider Knochen in ganzer, natürlicher Verbindung wird dieses Verhältnis

umgekehrt. (Ulna + Radius tragen ebensoviel oder mehr als Ulna allein.)

Mit andern Worten: das im obern Drittel die beiden Knochen verbindende, gekuppelte Laschengehänge kommt der natürlichen Verbindung der ganzen Knochen nicht vollständig gleich, dasselbe kann die Verstärkung für den Radius im Zusammenhalt mit der Ulna nicht ganz auf die Bruchbelastungshöhe der Ulna erheben (es fehlen noch 26 Kgr dazu).

Das Verhältnis der Bruchbelastungsgrösse, welche den Radius trifft, zu jener der Ulna ist hier: $\frac{111}{2} : 127 = 55 : 127 = 1 : 2{,}3$; (schon wesentlich anders als bei der Beanspruchung jedes der Knochen für sich [1 : 5]).

Als Beispiele der Beanspruchung nach Nr. 1 (beide Knochen im obern Drittel gebolzt) dienen:

Vers.-Nr. 1.

Filia publica, 21 Jahre alt, 156 cm lang, 37 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

R. Ulna + Radius	mit 91 Kgr wird der Radius herausgezogen.
(Vgl. S. 89 L. Rad. + Ulna, ganz,	mit 151 Kgr totaler Kapselriss.)
R. Ulna, allein	mit 110 Kgr Kapselriss an der Ulna innen.

Vers.-Nr. 2.

Malergehilfe, 41 Jahre alt, 52 Kgr schwer, 155 cm lang. Todesursache: Nephritis.

R. Ulna + Radius	mit 96 Kgr Radius herausgezogen.
R. Ulna, allein	mit 101 Kgr Kapselriss innen und aussen an der Ulna.
L. Ulna + Radius	mit 91 Kgr Radius herausgezogen.
L. Ulna, allein	mit 106 Kgr. ligament. int. in der Mitte quer gerissen.

Vers.-Nr. 3.

Kesselschmid, 32 Jahre alt, 168 cm lang, 54 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon., Carcinom d. Leber.

R. Ulna + Radius mit 120 Kgr Radius herausgez.
(Vgl. S. 83 L. Radius, allein mit 40 Kgr.)
R. Ulna, allein mit 130 Kgr ligament. int.
(Vgl. S. 83 L. Ulna, allein mit 134 Kgr längs gerissen.)

Vers.-Nr. 4.

Taglöhner, 72 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

R. Ulna + Radius mit 60 Kgr Radius herausgezog.
R. Ulna mit 60 Kgr Kapselriss innen an der Ulna.

Vers.-Nr. 5.

Hausirerin, 56 Jahre alt, 154 cm, 34,5 Kgr schwer. Todesursache: Pneumonie.

L. Ulna + Radius mit 45 Kgr Radius herausgezog.
L. Ulna mit 90 Kgr Kapselriss am ligament. int. längs.

Vers.-Nr. 6.

Taglöhner, 53 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon. et Vit. cordis.

L. Radius + Ulna mit 100 Kgr Radius herausgez.
L. Ulna mit 160 Kgr Kapselriss des ligament. annulare et extern. an der Ulna.

Vers.-Nr. 7.

Oekonom, 34 Jahre alt. Todesursache: Myodegenerat. cordis.

R. Radius + Ulna mit 125 Kgr Radius herausgez.
(Vgl. S. 90 R. Radius + Ulna ganz mit 170 Kgr Bruch der Ulna.
L. Radius + Ulna ganz mit 150 Kgr Riss vorn durch das ganze Gelenk.)
R. Ulna mit 100 Kgr Kapselriss innen und hinten an der Ulna.

Dies ist der einzige Fall, in welchem bei der Beanspruchung durch gekuppeltes Laschengehänge Radius + Ulna mehr tragen als Ulna allein; der Grund lag darin, dass das Laschengehänge nicht ganz im obern Drittel der beiden Knochen, sondern fast in halber Länge derselben angebracht und das ligamentum interosseum als Verstärkung in grosserer Ausdehnung erhalten war.

Vers.-Nr. 8.

Taglöhner, 68 Jahre alt. Todesursache: Marasmus.

R. Radius + Ulna mit 154 Kgr die ganze Gelenkkapsel vorn in der Mitte quer durchgerissen.

Vers.-Nr. 10.

Arbeiter in einer Schweizerei, 29 Jahre alt, 171 cm lang. 53 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

R. Radius + Ulna mit 240 Kgr Radius herausgez.

R. Ulna mit 280 Kgr wird das ligament. int. an der Ulna abgerissen.

(Vgl. S. 91 L. Ulna+Radius, ganz, mit 200 Kgr Radius herausgez.

L. Ulna mit 160 Kgr Kapselriss an der Ulna innen.)

Bruchbelastung bei Beanspruchung beider Knochen am untern Ende oder an der Hand nach Nr. III in ganzer natürlicher Verbindung:

Auf Radius + Ulna zusammen bis zum Ausziehen des Radius kamen

		Zum Vergleich mit der Beanspruchung nach Nr. I; doppeltes Laschengehänge im obern Drittel beider Knochen:
im Mittel (aus 7 Fällen)	169 Kgr	111 Kgr (aus 10 Versuchen)
als höchstes (Vers.-Nr. 7 und 2)	200 Kgr	240 Kgr
als niedrigstes (Vers.-Nr. 3)	130 Kgr	45 Kgr

Demnach wirkt die natürliche Verbindung der Art verstärkend auf den Unterarm, dass Radius + Ulna zusammen als Ganzes weit mehr tragen (um 58 Kgr im Mittel) als die im obern Drittel abgesägten beiden Knochen, wenn sie durch ein gemeinsames Laschengehänge daselbst beansprucht werden. (Radius + Ulna tragen nach Nr. I im Mittel 111 Kgr; nach Nr. III aber 169.) Diese Differenz von 58 Kgr im Mittel, um welche die ganzen, natürlich verbundenen Unterarmknochen mehr tragen als die im obern Drittel abgesägten und dort an einem gemeinsamen Laschengehänge beanspruchten, entspricht so ziemlich der Belastung, welche das ligamentum inter-

osseum beim Längszug im Folgenden ergeben hat (65 Kgr im Mittel).

Auf diese Weise lässt sich also durch Rechnung und Vergleichung finden, dass es eine Hauptaufgabe des ligament. inteross. ist, diese Verstärkung der beiden Knochen zu übernehmen.

Die Bruchbelastung von Radius + Ulna zusammen = 169 Kgr im Mittel ist aber bei der Beanspruchung der beiden Knochen als Ganzes in natürlicher Verbindung dank dieser Verstärkung auch grösser als die der Ulna allein (nach dem Ausziehen des Radius); für dieselbe wurde gefunden:

		Zum Vergleich:	
als mittlere Belastung . .	149 Kgr	127 Kgr	134 Kgr
als höchste Belastung . . (Vers.-Nr. 2)	220 Kgr	280 Kgr	230 Kgr
als niederste Belastung . (Vers.-Nr. 5)	100 Kgr	60 Kgr	85 Kgr
		Bei Beanspruchung im obern Drittel nach Nr. I.	nach Nr. II.

Bei der Beanspruchung nach Nr. I im obern Drittel beider Knochen mit gemeinsamem Laschengehänge blieb dagegen, wie oben erwähnt, die Bruchbelastung für Radius + Ulna = 111 Kgr unter derjenigen der Ulna = 127 Kgr, weil eben die Verspannung fehlte.

Da nun im Folgenden durch die Gewichtszahlen bei den Zugversuchen an der Hand gezeigt wird, dass vom Handgelenk aus die meiste Last der Radius aufnimmt, die Versuche am Ellenbogengelenk aber soeben ergeben haben, dass hier der grössere Teil der Belastung = 149 Kgr im Mittel der Ulna zufällt, so muss es sich um ein allmäliches Ueberwandern der Last von Radius nach Ulna aufwärts beim Zug an Hand und Oberarm handeln; dies geschieht eben durch das ligamentum interosseum. Bei diesem Ueberwandern der Last muss es ungefähr in halber Höhe beider Knochen eine horizontale Durchschnittsebene geben, in welcher auf beide Knochen einzeln von der Gesammtbruchbelastung (von Radius + Ulna = 169 Kgr) die Hälfte kommt, d. h. in halber Höhe des Unterarmes trägt vermöge der Verspannung die Ulna und auch der Radius bis zum Gelenkbruch im Ellenbogengelenk etwa 85 Kgr für sich allein.

Gegen das Ellenbogengelenk hin nimmt diese Bruchbelastung

beim Radius ab und zwar um die Differenz zwischen Gesammtbruchbelastung (169 Kgr) und die Bruchbelastung der Ulna (149 Kgr); sie beträgt hier nur noch 169 — 149 = 20 Kgr, fast die Grösse, welche früher bei Einspannung nach Nr. II für den im obern Drittel abgesägten Radius allein gefunden worden ist (28 Kgr siehe S. 82). Also auch auf diesem Wege wird durch Rechnung gefunden, dass das Radiusköpfchen im Ellenbogengelenk eine sehr geringe Tragfähigkeit besitzt.

Gemäss der freien Beweglichkeit des obern radialen Gelenkes ist aber auch eine solche Entlastung dieses Knochens am obern Ende eine notwendige Bedingung. Es wäre wohl im andern Falle fast unmöglich mit einer an der Hand ziehenden schweren Last noch Drehbewegungen des Unterarmes auszuführen.

Als Beispiele für die Einspannung nach Nr. III (Zug an beiden Unterarmknochen zugleich in natürlicher Verbindung) mögen folgende Fälle dienen:

Vers.-Nr. 1.

Filia publica, 21 Jahre alt, 156 cm lang, 37 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Ulna + Radius	mit 151 Kgr Kapselriss aussen am Humerus mit Fractur des condyl. intern. Das ganze Gelenk wird aufgebrochen.
(Vgl. S. 85 R. Ulna, allein	mit 110 Kgr Kapselriss innen.)

Vers.-Nr. 2.

Maurer, 53 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

R. Ulna + Radius	mit 200 Kgr Radius herausgezogen aus dem Ellenbogengelenk, während Ulna gleichzeitig aus dem Handgelenk geht.
R. Ulna, allein	mit 220 Kgr Kapselriss innen an der Ulna.

Dies ist der einzige Fall, bei dem die Bruchbelastung der Ulna etwas höher liegt als die von Radius + Ulna.

Vers.-Nr. 3.

Tapezierer, 19 Jahre alt, 35 Kgr schwer, 164 cm. lang. Todesursche: Tuberculos. pulmon.

L. Ulna + Radius — mit 130 Kgr Radius herausgez.

L. Ulna — mit 129 Kgr Kapselriss vorn an der Ulna.

Vers.-Nr. 4.

Taglöhner, 21 Jahre alt. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Ulna + Radius — mit 180 Kgr Radius herausgez.

R. Ulna — mit 180 Kgr Kapselriss vorn an der Ulna.

Vers.-Nr. 5.

Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer. Todesursache: Myodegenerat. cordis.

R. Ulna + Radius, ganz — bei 170 Kgr Bruch der sehr dünnen und spröden Ulna an der Bolzungsstelle unten.

Alsdann beide Knochen in der Mitte an dem gekuppelten Laschengehänge durch Bolzung eingespannt:

Radius + Ulna — mit 125 Kgr Kapselriss am Radius, dieser herausgezogen.

R. Ulna, allein — mit 100 Kgr Kapselriss an der Ulna innen.

Vers.-Nr. 6.

Vom gleichen Individuum.

L. Ulna + Radius, ganz in natürlicher Verbindung beansprucht — mit 150 Kgr Kapselriss vorn an der Ulna und am Radius aussen.

Versuch Nr. 6 im Zusammenhalt mit Nr. 7 zeigt an einem und demselben Präparat die Wirkung der natürlichen Verspannung und der Beanspruchung durch gemeinsames Laschengehänge gegenüber der Bruchbelastung der Ulna allein:

R. Radius + Ulna, in ganzer Verbindung trägt mehr als 170 Kgr

(L. Radius + Ulna, ganz trägt 150 Kgr)

R. Radius + Ulna, gekuppelt in halber Höhe trägt 125 Kgr
R. Ulna, allein trägt 100 Kgr

Vers.-Nr. 7.

Arbeiter in einer Schweizerei, 29 Jahre alt, 171 cm lang, 53 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Ulna + Radius mit 200 Kgr Radius herausgezogen aus dem Ellenbogengelenk, während gleichzeitig die Ulna aus dem Handgelenk geht.

L. Ulna, allein mit 160 Kgr ligament. intern. an der Ulna abgerissen.

(Vgl. S. 87 R. Radius + Ulna mit gekuppeltem Laschengehänge beansprucht tragen 240 Kgr; damit wird der Radius herausgezogen.

R. Ulna, dann allein mit 280 Kgr Kapselriss innen an der Ulna.) —

Die **mittlere Tragfähigkeit eines gestreckten Unterarmes** liegt der Berechnung aus diesen Fällen nach für das muskelfrei präparirte **Ellenbogengelenk** bei **169 Kgr.**

Die niederste Bruchbelastung nach diesen 7 Fällen war 130 Kgr (Vers.-Nr. 3).

Die höchste Bruchbelastung nach diesen 7 Fällen war 200 Kgr (Vers.-Nr. 2 und 7).

Allerdings wurde bei den andern Einspannmethoden (nach Nr. I und II) in einigen Fällen bei besonders kräftigen Individuen die Gelenkverbindung der Ulna mit dem Humerus allein etwas stärker als 200 Kgr befunden: 230 Kgr (Vers.-Nr. 4 bei Einspannung II)
280 Kgr (Vers.-Nr. 7 bei Einspannung I)
und auch als einzige Ausnahme bei Einspannung nach Nr. III
Ulna allein: mit 220 Kgr (Vers.-Nr. 2)
stärker als Ulna + Radius.

Doch gelten diese Ausnahmen nur für besonders starke Männer, wie auf der andern Seite das weibliche Geschlecht durchwegs unter der mittlern Bruchbelastung bleibt, z. B. bei Einspannung Nr. I, Vers.-Nr. 5 und 1.

Im hohen Alter wird das Gelenk schwächer (Vers.-Nr. 4 bei Einspannung Nr. I).

Nur einmal wurde Knochenbruch innerhalb des Gelenkes beobachtet (bei Einspannung Nr. III Vers.-Nr. 1).

Zu Gunsten Rechts wurde ein Unterschied zweimal gefunden:
34 jähr. Oekonom R. 170 L. 150 Kgr Vers.-Nr. 5 } bei Einspan-
29 jähr. Arbeiter R 240 L. 200 Kgr „ 7 } nung Nr. III
in allen andern Fällen, in denen die rechte und linke Seite untersucht werden konnte, waren die Bruchbelastungen ziemlich gleich hoch.

B. Zugversuche am Handgelenk.

Die drei Arten der Einspannung und die Resultate sind denen vom Ellenbogengelenk ganz ähnlich, aber symetrisch, d. h. Alles, was dort von der Ulna gesagt worden, hat hier für den Radius Geltung und ebenso verhält sich das obere Ende des Radius zu dem untern der Ulna. Es handelt sich ja hier — die Handwurzel als ein Ganzes betrachtet — ebenfalls um zwei verschieden starke Knochen, die mit der Hand in Gelenkverbindung stehen; nur ist das Verhältnis der Stärke dieser beiden Knochen hier am untern Ende gerade das Umgekehrte von dem am obern Ende derselben.

Für die 3 Einspann-Vorrichtungen, welche hier in etwas anderer Reihenfolge beschrieben werden, sollen die gleichen Nummern zur Unterscheidung beibehalten werden, wie beim Ellenbogengelenk: Es wurde also nach Nr. III, um Hand und Ellenbogengelenk in ganzer natürlicher Verbindung zu prüfen, der Humerus einerseits im untern Drittel quer gebolzt und in einem Laschengehänge befestigt, andererseits, wie es Fig. 14 zeigt, die Handwurzel unterhalb des Handgelenkes mit einer nach der Form der Hand eingeschnittenen Holzbeilage quer gefasst und in eine Eisenklammer eingeschraubt. War das Ellenbogengelenk am Unterarm bei dem zur Prüfung bestimmten Objekt nicht mehr erhalten, so wurden die beiden Unterarmknochen direct unter den Ellenbogengelenk-Enden quer gebolzt und in das gekuppelte Laschengehänge eingespannt.

Nach Nr. I wurde die Hand wie bei Nr. III gefasst, die im untern Drittel abgesägten Unterarmknochen aber, welche also nur noch mit dem untersten Teil des ligamentum interosseum aneinander befestigt waren, in das gekuppelte Laschengehänge eingespannt (Fig. 14).

Endlich wurden nach Nr. II noch einige Zugversuche an jedem der Unterarmknochen für sich gemacht.

Im Ganzen wurden 17 Fälle geprüft:

Der Kapselriss erfolgte immer auch hier zuerst am schwächeren Knochen, an der Ulna; und zwar riss die Kapsel unter 13 Fällen

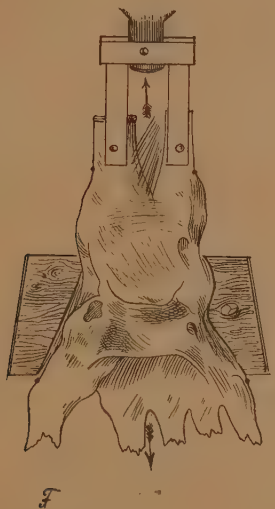


Fig. 15.

zehnmal an der Ulna ab (sechsmal mit Apophysenbruch *) am processus styloideus derselben), zweimal wurden die Fasern des ligament. ulnare längs auseinander gezogen, so dass eine Lücke in der seitlichen Wand der Gelenkkapsel entstand; einmal wurde die Kapsel ulnarwärts vom Pyramidenbein abgerissen.

*) Diese Resultate stimmen nicht ganz mit den Behauptungen Charpy's (Révue de chirurgie pg. 732 citat. loc.). Er spricht von einem Arrachement total et partial, einem totalen und partiellen Abreissen eines Knochens bei der Beanspruchung desselben auf Längszug vermittelst eines an ihn angewachsenen Bandes. Ein totales Abreissen des Knochens ist nach seiner Ansicht unmöglich: „chez les disques vertébraux, les articulations chondrocostales, la radio-carpienne, les deux peronéo-tibiales, j'ai toujours rompu les ligaments et non le squelette. Charpy glaubt nicht, dass es eine totale Fractur des Knochens durch Zug gebe; denn die spongöse Masse habe bis zum Bruch durch Zug sehr hohe Belastung notwendig: nach Wertheim das untere Ende des Wadenbeins 140 Kgr (diese Zahl stimmt gut mit meinen

Der Bruch ging alsdann entweder sofort weiter und durch das ganze radiale Gelenk (dies war nur bei Einspannung nach Nr. III mit ganzer, natürlicher Verbindung beider Unterarmknochen einige Male unter hoher Belastung der Fall), oder der radiale (grössere) Teil des Gelenkes trug (in der Mehrzahl der Fälle) eine noch höhere Belastung. Hiebei erfolgte der Kapselriss unter 14 Fällen achtmal volar am Radius (fünfmal mit querem Epiphysenbruch*) desselben); einmal wurde die Kapsel dorsal vom Radius abgerissen, einmal auf allen Seiten desselben gleichzeitig.

In vier Fällen erfolgte Ablösung der Kapsel von der Handwurzel und zwar wurde das Mondbein mit herausgerissen.

Die Bruchbelastungen stellen sich folgendermassen:

Bei der Einspannung Nr. III (beide Knochen ganz in natürl. Verbindung):

	Zum Vergleich (siehe S. 87): Es wurde beim Ellenbogengelenk aus der gleichen Versuchszahl und demselben Material
Radius + Ulna im Mittel 184 Kgr	im Mittel 169 Kgr gefunden;
Radius + Ulna als höchste 250 Kgr (Vers.-Nr. 5)	als höchste 200 Kgr gefunden;
Radius + Ulna als niederste 130 Kgr (Vers.-Nr. 4)	als niederste 130 Kgr gefunden.

Davon kommt, nach dem gleichen Schluss wie beim Ellenbogengelenk in Bezug auf die Kraftübertragung, in halber Höhe des Unterarmes auf jeden der Knochen ungefähr die Hälfte dieser 184 Kgr:

Ulna und Radius tragen demnach in halber Höhe vom Hand-

Resultaten beim Fussgelenk, siehe Seite 58 u. ff. nach Wilson das obere Ende der Ulna 232 Kgr., nach Rauber der Schenkelhals der Katze 142 Kgr. Nach meinen Untersuchungen ist ein solcher Knochenbruch durch reinen Achsenzug vom Gelenk aus recht gut möglich namentlich bei schwachen Knochen und sehr starken Bändern; besonders sprechen die Versuche am Handgelenk, auch an der articulatio sterno-clavicular. und acromio-clavicular. (siehe dort) hiefür. — Ein Arrachement partial gibt Charpy zu, indem er sagt, dass an den knöchernen Apophysen (z. B. processus styloideus ulnae nach meinen Versuchen), die von einem starken Bande vollkommen eingehüllt werden, die Vorteile für Band- oder Knochenbruch ganz gleiche sind, dass es mehr auf die Angriffsweise der Kraft ankommt, was hier zuerst reisst. (Die Festigkeit eines Bandes zu etwa 7 Kgr pro 1 □mm., die der Compakta zu 10, der Spongosa zu 1 Kgr gerechnet wird der ziemlich bedeutende Querschnitt des Bandes sicher soviel tragen als die Apophyse). (Siehe auch Fussgelenk S. 59.)

*) Siehe Anmerkung auf letzter Seite.

gelenk aus, jeder für sich 92 Kgr (vom Ellenbogengelenk aus so ziemlich ebensoviel, der Berechnung nach etwa 85 Kgr, vergleiche S. 85).

Nach Zerreissung des ulnaren Teiles vom Handgelenk trug der radiale noch:

		Zum Vergleich beim Ellenbogengelenk	
Radius im Mittel . .	181 Kgr	im Mittel die Ulna	149 Kgr
Radius zu höchst . . (Vers.-Nr. 5 und 6)	200 Kgr	„ „ zu höchst	220 Kgr
Radius zu niedrigst . (Vers.-Nr. 1)	140 Kgr	„ „ zu niedrigst	100 Kgr

Das Handgelenk ist also im Mittel stärker als das Ellenbogengelenk, was auch seiner exponirten von Muskeln ganz entblössten Lage sehr gut entspricht;

im Ellenbogengelenk trägt Ulna + Radius 169 Kgr im Mittel,
„ „ „ Ulna 149 Kgr,
im Handgelenk trägt Ulna + Radius 184 Kgr,
„ „ „ Radius 181 Kgr.

Diese Stärke verdankt das Handgelenk dem Radius, der hier ebenfalls mehr tragen kann als das ihm entsprechende obere Ende der Ulna im Ellenbogengelenk (Radius im Handgelenk trägt 181 Kgr, Ulna im Ellenbogengelenk 140 Kgr).

Geradeso wie beim Ellenbogengelenk tragen beim Handgelenk, wenn die beiden Knochen in ganzer natürlicher Verbindung beansprucht werden, Radius + Ulna mehr (184 Kgr) als der stärkere Knochen allein (181 Kgr). Dieses Verhältnis wird sofort, wie aus dem Folgenden hervorgeht, umgekehrt, sobald die natürliche Verbindung fehlt. Mit ihr geht die kraftübertragende Verspannung verloren. Diese Kraftübertragung erreicht im Handgelenk noch einen viel höheren Grad als im Ellenbogengelenk: denn nimmt man die Differenz zwischen der Bruchbelastung von Radius + Ulna (184 Kgr) und Radius allein (181 Kgr) = 184 — 181 = 3 Kgr, so geht daraus hervor, dass das untere Ende der Ulna nur sehr wenig trägt, viel weniger als der Radius im Ellenbogengelenk (28 Kgr). Die Richtigkeit dieser Rechnung wird durch die Zahlen der unten folgenden Einspannung Nr. I bestätigt.

Demnach wird das untere Ende der Ulna nur durch die Verspannung auf die Bruchbelastung von 181 Kgr mit heraufgenommen.

Aus den anatomischen Verhältnissen ist schon diese geringe

Beteiligung des untern Ulna-Endes an der Zugfestigkeit des Unterarmes erklärlich; die Ulna ist nur seitlich dem Handgelenk angefügt, nimmt an seiner Articulation nur vermittelst eines eingeschobenen Faserknorpels teil, ist an der Hand nur durch das ulnare Seitenband befestigt. Das am Ellenbogengelenk in Bezug auf die Kraftübertragung entsprechende obere Ende des Radius hat mit diesem einen viel innigeren Contakt, wird durch ein festes Ringband mit demselben vereinigt.

Mit diesem untergeordneten Verhältnis des untern Ulnaendes zum Handgelenk stimmt auch die schon früher erwähnte Erscheinung, dass bei manchen Thierarten (Pferd u. s. w.) die untere Hälfte der Ulna vollkommen atrophisch geworden ist.

Folgendes sind die hauptsächlichsten Fälle der Einspannungsart Nr. III (beide Knochen ganz in natürlicher Verbindung).

Vers.-Nr. 1.

Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt, 150 cm lang, 40,5 Kgr schwer. Todesursache: Tuberculos. Basilarmeningitis.

R. Ulna + Radius	mit 160 Kgr Kapselriss ulnar längs.
R. Radius	mit 140 Kgr Kapselriss volar am Radius.

Vers.-Nr. 2.

Maurer, 53 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

R. Ulna + Radius	mit 220 Kgr am Process. styloideus Ulnae reisst das Band ab
R. Radius	mit 215 Kgr Kapselriss am Radius.

Vergleiche: Beim Ellenbogengelenk mit Einspannung Nr. III (beide Knochen ganz in natürlicher Verbindung) vom gleichen Individuum. Frühere Vers.-Nr. 2.

Radius + Ulna	mit 200 Kgr
Ulna	mit 220 Kgr

Vers.-Nr. 3.

Blumenmacherin, 21 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

R. Ulna + Radius	mit 180 Kgr das ganze Gelenk dorsal am Radius durchgerissen.

Vers.-Nr. 4.

Tapezierer, 19 Jahre alt, 35 Kgr schwer, 164 cm lang. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Ulna + Radius	mit 130 Kgr Kapselriss a. d. Ulna.
R. Radius	mit 150 Kgr Kapselriss am Radius mit Epiphysenbruch.

Der einzige Fall, bei welchem die beiden Knochen zusammen in natürlicher Verbindung etwas weniger tragen als der stärkere allein.

Vergleiche: Im Ellenbogengelenk nach Einspannung Nr. III (in ganzer Verbindung), vom gleichen Individuum, frühere Vers.-Nr. 3 Seite 89 hielten Radius + Ulna ebensoviel:

L. Ulna + Radius	mit 130 Kgr Kapselriss.
L. Ulna	mit 120 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 5.

Taglöhner, 26 Jahre alt. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Radius + Ulna	mit 250 Kgr Kapselriss an der Ulna mit Bruch des process. styloideus.
R. Radius	mit 200 Kgr Kapselriss volar am Radius.

Vers.-Nr. 6.

Arbeiter in einer Schweizerei, 29 Jahre alt, 171 cm lang, 53 Kgr schwer. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

L. Radius + Ulna	mit 200 Kgr Kapselriss an der Ulna.

alsdann L. Radius bei nochmaliger Belastung mit 200 Kgr Kapselriss volar am Radius mit Knorpelablösung.

Vergleiche Ellenbogengelenk vom gleichen Individuum:

L. Ulna + Radius (in ganzer Verbindung) nach Einspannung III S. 91.	mit 200 Kgr Radius herausgezogen.
L. Ulna (allein)	mit 160 Kgr Kapselriss innen an der der Ulna.
R. Ulna + Radius	mit 240 Kgr Radius ausgezogen.

(Eingespannt nach Nr. I durch gekuppeltes Laschengehänge in halber Höhe. Vers.-Nr. 10 S. 87.)

R. Ulna (allein)	mit 280 Kgr ligament. intern. an der Ulna abgerissen.

Vers.-Nr. 7.

Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

R. Radius + Ulna mit 140 Kgr das Gelenk volar ganz durchgerissen.

R. Ulna mit Epiphysenbruch am Radius.

Bei Beanspruchung Nr. I (beide Knochen im untern Drittel mit gekuppeltem Laschengehänge beansprucht) waren die Bruchbelastungen folgende:

	Zum Vergleich nach Nr. III beide Knochen in ganzer Verbindung eingespannt
Radius + Ulna im Mittel 100 Kgr	184 Kgr
Radius + Ulna zu höchst 130 Kgr (Vers.-Nr. 4)	250 Kgr
Radius + Ulna zu niederst 80 Kgr (Vers.-Nr. 7)	130 Kgr

Die künstliche Verkuppelung kann demnach auch beim Handgelenk die natürliche Verstrebung nicht ersetzen. Aus der Differenz dieser verschiedenen Bruchbelastungen: 184 — 100 = 84 Kgr kann wiederum auf die Bedeutung des ligamentum interosseum für die Verstrebung geschlossen werden; beim Ellenbogengelenk (siehe S. 87) beträgt diese Differenz 58 Kgr; die Zugversuche am ligament. interosseum der Länge nach (siehe S. 103) ergeben 65 Kgr. Diese 3 Zahlen stimmen also ziemlich zusammen.

Da die beiden Knochen durch das gekuppelte Laschengehänge hier ebenso gleichmässig beansprucht wurden, wie im Ellenbogengelenk, so kam bis zum Bruch an der Ulna auch hier die Hälfte der Belastung auf jeden Knochen (50 Kgr).

Nachdem die Ulna aus dem Handgelenk mit 50 Kgr im Mittel ausgerissen war, trug auch hier der stärkere Knochen, der Radius (wie im Ellenbogengelenk die Ulna), noch bedeutend mehr; er kam in der Bruchbelastung bis zu der Grösse, die bei Beanspruchung Nr. III (beider Knochen ganz in natürlicher Verbindung) gefunden wurde (siehe Seite 94: 184 Kgr), herauf:

		Vergleiche: Bei Beanspruchung beider Knochen in natürlicher Verbindung:	
Radius (allein) im Mittel	187 Kgr	Radius im Mittel	181 Kgr
Radius (allein) zu höcht (Vers.-Nr. 3, Seite 100)	210 Kgr	Radius zu höchst	200 Kgr
Radius (allein) zu niederst (Vers.-Nr. 1, Seite 99)	95 Kgr	Radius zu niederst	140 Kgr

Das Ausreissen der Ulna hatte hier im Handgelenk ebenso wenig Einfluss auf die Bruchbelastung des Radius wie im Ellenbogengelenk das Ausziehen des Radius umgekehrt auf die der Ulna.

Diese Mehrbelastung des Radius bei der Einspannung Nr. I (gekuppeltes Laschengehänge im untern Drittel beider Knochen) nach dem Ausreissen der Ulna beweist der Bruchbelastung von Ulna + Radius (100 Kgr) gegenüber wieder, dass nur die ganze natürliche Verbindung von Ulna mit dem Radius die erstere befähigt soviel zu tragen wie der Radius.

Aus dieser Bruchbelastung des Radius zu 187 Kgr und der Hälfte der Bruchbelastung von Ulna + Radius, 50 Kgr, welche der Ulna bei der Einspannung Nr. I (am gekuppelten Laschengehänge im untern Drittel) zukommt, lässt sich das Verhältnis der Tragfähigkeit beider Knochen zu einander im Handgelenk berechnen; Ulna : Radius = 50 : 187 = 1 : 3,7.

Im Ellenbogengelenk war das symetrisch ähnliche Verhältnis Radius : Ulna = 1 : 2, 3 (vergleiche S. 85). Im Ellenbogengelenk ist also die Ulna zweimal stärker als der Radius befestigt; im Handgelenk unter den gleichen Verhältnissen der Radius fast viermal stärker als die Ulna. Die Ulna hat demnach hier, wie schon oben S. 95 erwähnt, zum Gelenk eine viel untergeordnetere mechanische Bedeutung als dort, am Ellenbogengelenk, der Radius.

Nach der Einspannung Nr. I (beide Knochen im untern Drittel in gekuppeltem Laschengehänge beansprucht) wurden folgende Fälle geprüft:

Vers.-Nr. 1.

Filia publica, 21 Jahre alt, 156 cm lang, 37 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

R. Radius + Ulna — mit 120 Kgr ligament. ulnar. v. Pyramidenbein abgerissen.

Einziger Fall bei Einspannung Nr. I, in welchem Radius + Ulna mehr trugen als Radius.

R. Radius — mit 95 Kgr Radius total aus der Kapsel gezogen.

Vers.-Nr. 2.

Taglöhner, 68 Jahre alt. Todesursache: Marasmus.

L. Radius + Ulna — mit 105 Kgr Kapselriss a. d. Ulna.

L. Radius mit 170 Kgr Kapselriss dorsal am oss. lunat.

Vers.-Nr. 3.

Taglöhner, 53 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Radius + Ulna mit 130 Kgr Kapselriss an der Ulna mit Bruch des proc. styloid. uln.

L. Radius mit 210 Kgr Kapselriss volar radial an der Handwurzel.

Vers.-Nr. 4.

Taglöhner, 54 Jahre alt. Todesursache: Myodegener. cord.

L. Radius + Ulna mit 130 Kgr Kapselriss längs in Strähnen am ulnar. Band.

L. Radius mit 190 Kgr Kapselriss volar an der Handwurzel.

Vers.-Nr. 5.

Tapezierer, 19 Jahre alt, 164 cm lang, 35 Kgr schwer. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Radius + Ulna mit 100 Kgr Apophysenlösung des proc. styloid. uln.

R. Radius mit 190 Kgr Epiphysenlösung des Radius.

Vers.-Nr. 6.

Arbeiter in einer Schweizerei, 29 Jahre alt, 171 cm lang, 53 Kgr schwer. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

R. Radius + Ulna mit 90 Kgr Kapselriss a. d. Ulna.

R. Radius mit 200 Kgr Kapselriss volar a. d. Handwurzel, os. lunat. herausgerissen.

Vergleiche frühere Vers.-Nr. 6 (Einspannung Nr. III, Seite 97) beide Knochen in natürlicher Verbindung:

L. Radius + Ulna mit 200 Kgr Kapselriss am Radius.

und vergleiche: beim Ellenbogengelenk (Einspannung Nr. III, Seite 91)

L. Radius + Ulna mit 200 Kgr.

Vers.-Nr. 7.

Köchin, 24 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Radius + Ulna mit 80 Kgr Kapselriss an der Ulna mit Bruch des proc. styl.

L. Radius mit 190 Kgr Kapselriss volar am Radius mit Epiphysenbruch desselben. —

Auch die Beanspruchung nach Nr. II (jeden Knochen für sich) ergab mit den früheren Versuchen übereinstimmende Resultate:

Die Bruchbelastung für den Radius wurde auch hier in allen Fällen bedeutend höher befunden als die der Ulna:

Als Beispiele mögen einige Fälle dienen:

Vers.-Nr. 1.

Taglöhner, 54 Jahre alt. Todesursache: Myodegeneratio cordis.

R. Radius mit 165 Kgr Kapselriss volar an der Handwurzel, das os. lunat. herausgerissen.

Vergleiche frühere Vers.-Nr. 4 Seite 100: L. Radius + Ulna (nach Einspannung Nr. I durch Laschengehänge beansprucht im untern Drittel)

trägt 130 Kgr

L. Radius (allein) mit 190 Kgr.

Vers.-Nr. 2.

Blumenmacherin, 21 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Ulna (allein, aber im obern Drittel, eingespannt und mit dem Radius noch durch das ligament. inteross. verbunden) mit 120 Kgr Kapselriss an der Ulna mit Bruch des process. styloid.

alsdann

L. Radius (allein) mit 170 Kgr Kapselriss volar am Radius.

Vergleiche frühere Vers.-Nr. 3 Seite 96 (bei Beanspruchung nach Nr. III): Beide Knochen ganz, in natürlicher Verbindung

R. Ulna + Radius mit 180 Kgr.

Vom letzten Versuch ist die Bruchbelastung der Ulna zu 120 Kgr besonders bemerkenswert; denn nach den früheren Versuchen bei Beanspruchung der beiden Knochen im untern Drittel mit gekuppeltem Laschengehänge nach Nr. I auf S. 98 kommt auf Ulna in halber Höhe nur 50 Kgr, nach Beanspruchung Nr. III auf S. 95 (beide Knochen in ganzer natürlicher Verbindung) kommt auf das unterste Ende der Ulna nur 3 Kgr; also muss die relativ

hohe Belastung von 120 Kgr doch zum grössten Teil dem ligamentum interosseum zugerechnet werden; zieht man davon die mittlere Belastung, welche für die Ulna in halber Höhe früher erhalten wurde: 120 — 50 = 70 Kgr ab, so erhält man wirklich eine Grösse, welche der später erwähnten (S. 103) Bruchbelastung des ligament. interosseum bei Längszug nahe kommt (65 Kgr). —

Zieht man aus dieser dreifachen Beanspruchung des Handgelenkes, die wie beim Ellenbogengelenk durch die Verschiedenartigkeit der beiden Unterarmknochen und die Mannigfaltigkeit des verwendeten Materials bedingt war, einen Schluss, so liegt die **mittlere Tragfähigkeit eines Unterarmes** (in gestreckter Stellung und halber Supination) **für das Handgelenk bei 184 Kgr**, um 15 Kgr höher als für das Ellenbogengelenk. (Siehe Seite 91 und 95.)

Bemerkenswert ist ferner die Häufigkeit von Knochenbrüchen durch Zug am Handgelenk (siehe Seite 93 und 94): an der Ulnaapophyse in 50%, an der Radius-epiphyse in 33% der Fälle. Damit findet das in der Praxis häufige Vorkommen derartiger Knochenbrüche nach Gewalteinwirkungen, welche Hand und Unterarm treffen und sich als Zug oder Dehnung des Handgelenkes in einer bestimmten Richtung äussern, eine Erklärung.

Wie beim Ellenbogengelenk wurde auch beim Handgelenk die Beobachtung gemacht, dass die Bruchbelastung für das weibliche Geschlecht grösstenteils unter dem Mittel blieb.

Das rechte und linke Gelenk wurde einmal gleich stark befunden:

Arbeiter in einer Schweizerei (Vers.-Nr. 6).

Einige Male auch das rechte Gelenk stärker:

Blumenmacherin (Vers.-Nr. 3) Einspannung Nr. III,
„ (Vers.-Nr. 5) „ Nr. I.
Tapezirer (Vers.-Nr. 4) Einspannung Nr. III,
„ (Vers.-Nr. 2) „ Nr. I.

Einmal das linke Gelenk stärker:

Taglöhner (Vers.-Nr. 4) Einspannung Nr. I,
„ (Vers.-Nr. 1) „ Nr. II.

Ligamentum interosseum antebrachii.

Die an demselben vorgenommenen Zugversuche mögen hier folgen, da das Band in so inniger Beziehung zu den beiden eben beschriebenen Gelenken steht.

Es wurde dasselbe der Länge und Quere nach geprüft.

I. Beanspruchung in der Längsrichtung.

Die Prüfung geschah entweder an der Handwurzel und am Oberarm in der schon beschriebenen Weise, nachdem am ganzen bis auf das Hand- und Ellenbogengelenk präparirten Unterarm bereits unten die Ulna aus dem Handgelenk oben der Radius aus dem Ellenbogengelenk gezogen war (nach Einspannung Nr. III), oder an den aus dem Hand- und Ellenbogengelenk ausgelösten Unterarmknochen selbst in folgender Weise: Beide Knochen waren in ihrer natürlichen Verbindung, auch an den obern und untern Gelenkenden erhalten; dicht über den Gelenkenden wurde der Radius unten, die Ulna oben von der volaren zur dorsalen Seite mit einem Stahlbolzen durchbohrt und jeder in ein Laschengehänge eingespannt; vermittelst dieser kamen die beiden Knochenenden in die Zereissmaschine, so dass der Radius nach unten, die Ulna nach oben — jeder Knochen also nach der Richtung der grössten Tragfähigkeit vom andern — abgezogen wurde.

Unter 7 Fällen löste sich sechsmal zuerst die untere quere Verbindung zwischen Ulna und Radius (die dorsalen und volaren Fasern des ligamentum subcruentum); dann wurde allmälich nach aufwärts das Band mit sammt Fasern des Periostes meist von der Ulna abgelöst.

Ein durchgreifender Unterschied in der Bruchbelastung nach Alter und Geschlecht konnte nicht gefunden werden.

Die mittlere Bruchbelastung lag zwischen 65 und 70 Kgr (der erste Beginn des Zerreissens im Mittel bei 65 Kgr).

Die höchste Bruchbelastung war 80 Kgr (Vers.-Nr. 4 und 5).

Die niederste Bruchbelastung war 50 Kgr (Vers.-Nr. 6 und 7).

Die einzelnen Fälle waren folgende:

Vers.-Nr. 1.

Taglöhner, 54 Jahre alt. Todesursache: Myodegenerat. cord. R. ligament. . . . mit 65 Kgr v. Radius abgeschält.

Vers.-Nr. 2.

Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt, 150 cm lang, 40,5 Kgr schwer. Todesursache: Meningitis.

R. ligament. mit 60 Kgr von beiden Knochen abgeschält.

Vers.-Nr. 3.

Maurer, 53 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

R. ligament. mit 70 Kgr vom Radius abgeschält.

Vers.-Nr. 4.

Tapezirer, 19 Jahre alt, 164 cm lang, 35 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. ligament. mit 80 Kgr von der Ulna gelöst.

Vers.-Nr. 5.

Taglöhnerin, 58 Jahre alt, 151 cm lang, 51 Kgr schwer. Todesursache: Phthisis pulmon.

R. ligament. mit 80 Kgr untere Gelenkverbindung vom Radius gelöst, ausserdem das Band v. d. Ulna.

Vers.-Nr. 6.

Köchin, 24 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. ligament. mit 50 Kgr von der Ulna abgeschält.

Vers.-Nr. 7.

Taglöhner, 21 Jahre alt.

R. ligament. mit 50 Kgr reisst zuerst die untere Verbindung, dann wie vorher.

Die Bruchbelastung der fibrösen Verbindung beider Unterarmknochen zu 65 bis 70 Kgr im Mittel stimmt sehr gut zusammen mit der beim Ellenbogen- und Handgelenk ausgerechneten Grösse, um welche diese Gelenke bei natürlicher, ganzer Verbindung der beiden Unterarmknochen mehr tragen, als wenn diese beiden Knochen in dem zum Gelenk benachbarten Drittel verkuppelt beansprucht werden. Das verstärkende Moment ist eben jenes Band. Die anatomische Anordnung der Fasern des Bandes spricht schon für seine Aufgabe; dieselben laufen in der Hauptsache nach einer bestimmten Richtung; sie treffen nämlich in einer Neigung unter 45° den

Knochen. Dazu kommt noch am untern Ende beider Knochen eine sehr innige quere, dorsale und volare fibröse Verbindung. — In ähnlicher Anordnung verwendet man in der Bautechnik zur Verstärkung zweier Träger ein Gitterwerk, welches jene unter 45° verbindet.

Es wurden auch einige Fälle geprüft, bei welchen diese Querverbindung nicht mehr erhalten war, indem die Ulna unten, der Radius oben dicht über dem Gelenk abgesägt waren; hiebei wurde nur das ligamentum interosseum der Länge nach beansprucht; die Bruchbelastung schwankte zwischen 50 und 60 Kgr, blieb also etwas unter dem Mittel der Bruchbelastung der ganzen natürlichen Verbindung.

Die Dehnungen des Bandes oder besser die Verschiebungen der beiden Knochen zu einander, welche während dieser Beanspruchung auf Längszug vorkamen, wurden in den meisten Fällen an Marken (Reissnägel mit Körner) gemessen, die an den äussersten Enden der Ulna unten, des Radius oben angebracht waren. Die Verschiebungen, welche sich mit der stetigen Zunahme der Belastung als eine stetig sich verkleinernde Messspannweite äusserten, entsprachen vollkommen den elastischen Erscheinungen, wie sie bei andern Bändern beobachtet wurden. Interessant war es, dass auch nach einer Belastung von 50 Kgr ein vollkommener Rückgang zur Nullstellung durch Entlastung erzeugt werden konnte; es spricht dies für eine bedeutende Elasticität des ligament. inteross.

Als Beispiel möge folgender Fall dienen:

Frühere Vers.-Nr. 5.

Taglöhnerswittwe 58 Jahre alt.

R. ligament. (alle fibrösen Zwischenbänder, auch das lig. annul. rad. erhalten).

Messspannweite 206,7 mm von Radius oben nach Ulna unten.

Belastung Kgr	Abstand mm	Verkürzung mm	Abstand in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr
0	206,7		
10	203,2	3,5	
Entlastet			nach 10 Kgr 206,7 mm
0		0,7	
20	202,5	Der untere Teil des lig. inteross. sehr gespannt.	
Entlastet			nach 20 Kgr 206,7 mm

Belastung Kgr	Abstand mm	Verkürzung mm	Abstand in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr
		0,7	
30	201,8		
Entlastet			nach 30 Kgr 206,7 mm
		0,8	
40	201,0		
Entlastet			nach 40 Kgr 206,7 mm
		0,5	
50	200,5	Knistern.	
Entlastet			nach 50 Kgr 206,7 mm

Mit 70 Kgr beginnen sich einzelne Fasern vom untern Drittel des ligament. inteross. an der Ulna abzulösen; der obere Teil des ligament nimmt mit seinem Faserverlauf quere Richtung an. Mit 80 Kgr löst sich die untere quere Verbindung vom Radius. Die chorda transversalis und das obere Drittel des ligament. inteross. tragen dann noch 46 Kgr.

II. Beanspruchung des ligament. inteross. antebrach. in querer Richtung.

Da sich die zusammenhaltende Kraft des ligament. inteross in eine längs- und quergerichtete Componente zerlegen lässt, von welchen namentlich die letztere dem schon bei den Zugversuchen des Ellenbogengelenkes erwähnten Abstreben des obern Radiusende entgegenwirkt, so ist eine Prüfung der Festigkeit des Bandes in querer Richtung am Platze.

Eingespannt wurde ähnlich wie S. 65 beim ligamentum inteross. cruris jeder der beiden Knochen, indem jeder derselben parallel zu seiner Längsrichtung ungefähr in der Mitte in einen Feilkloben eingeschraubt wurde und zwar wurde der Radius entsprechend seiner grössern Massenansammlung in der untern Hälfte 1 cm unterhalb der Mitte, die Ulna aber entsprechend 1 cm oberhalb der Mitte eingespannt. Es wurden also die beiden Knochen in querer Richtung von einander abgezogen; dadurch wurde eine seitliche bogenförmige Ausbiegung der beiden Knochen erzielt, welche sich bei der Ulna in einem Falle sogar bis zum Bruche steigerte, ohne dass die fibröse Verbindung vollkommen durchriss,

in den übrigen Fällen aber die Bänder zum Reissen brachte; unter 9 Fällen trat fünfmal zuerst Auflösung des Faserngeflechtes des Zwischenknochenbandes in der Mitte ein, in den übrigen Fällen wurde zweimal zuerst die obere, zweimal zuerst die untere quere Verbindung der Gelenkenden durchbrochen. Diese queren Verbindungen zeigten sich auch hier als sehr bedeutend: in einigen Fällen, in denen sie nicht vollkommen erhalten waren, blieb die Bruchbelastung immer geringer als in den anderen Fällen; dieselbe stellte sich auf 75 Kgr gegen 91 Kgr im Mittel bei ganzer natürlicher Verbindung.

Ein besonderer Unterschied dem Alter oder Geschlecht nach wurde hier auch nicht bemerkt.

Jedenfalls ist aber die Festigkeit der Verbindung bedeutender in Querrichtung als in Längsrichtung. Z. B.:

	längs	quer	
Vers.-Nr. 6 u. 3 (weibl.)	50	81 Kgr	Bruchbelastung.
Vers.-Nr. 7 u. 5 (männl.)	50	90 Kgr	(mit 50 Kgr allerdings beginnende kleine Einrisse mitten im Band)
Vers.-Nr. 5 u. 2 (weibl.)	80	102 Kgr	

Das lig. inteross. antebrachii erweist sich auch als stärker denn das lig. inter. cruris.; letzteres bekam nach früheren Versuchen schon bei 40 Kgr Belastung grössere Einrisse.

Folgendes sind die wichtigsten Fälle der Beanspruchung des lig. inteross. antebrachii in querer Richtung:

Vers.-Nr. 1.

Schreiner, 52 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

R. Band: mit 86 Kgr reisst das Zwischenknochenband in der Mitte ein, dann löst sich die untere quere Verbindung.

Vers.-Nr. 2.

Taglöhnerin, 58 Jahre alt, 151 cm lang, 51 Kgr. schwer.

L. Band: mit 101 Kgr. entstehen zuerst Einrisse im untern Drittel des lig. inteross., dann reisst die untere quere Verbindung.

Vers.-Nr. 3.

Köchin, 24 Jahre alt

R. Band mit 81 Kgr erfolgt Aufbruch des Bandes von oben her.

Vers.-Nr. 4.

Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer.

L. Band: mit 61 Kgr erfolgt Aufbruch der oberen queren Gelenkverbindung.

Vers.-Nr. 5.

Taglöhner 21 Jahre alt.

L. Band: mit 50 Kgr kleine Einrisse im Band in der Mitte; mit 90 Kgr reisst die untere und obere quere Verbindung der Gelenkenden.

Vers.-Nr. 6.

Schlosser, 35 Jahre alt, 167 cm lang, 45 Kgr schwer.

R. Band: mit 101,5 Kgr erfolgen Einrisse in das Band im obern und untern Drittel, dann bricht die Ulna in der Mitte durch Biegung noch ehe die obere und untere Gelenkverbindung reissen.

Vers.-Nr. 7.

Taglöhner, 26 Jahre alt.

R. Band mit 80 Kgr reisst in der Mitte in Fasern auf.

Vers.-Nr. 8.

Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt.

R. Band mit 100 Kgr reisst in der Mitte, dann an der untern Gelenkverbindung.

Die Dehnungen des Bandes waren ziemlich bedeutend, ebenso lag die Grenze der vollkommenen Elasticität sehr hoch. Gemessen wurde im obern und untern Drittel (wie am Unterschenkel).

Als Beispiel möge folgender Fall dienen:

Frühere Vers.-Nr. 1.

Schreiner, 52 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

Entfernung der beiden Knochen von einander bei Null-Belastung im obern Drittel 36,5 mm, im untern 38,1 mm.

Belastung Kgr	Entfernung unten . oben mm	Dehnungszuwachs unten . oben mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr unten . oben	
0	38,1 . 36,5			
10	38,8 . 37,0	0,7 . 0,5		
Entlastet			0 . 0	nach 10 Kgr
		0,3 . 0,7		
20	39,1 . 37,2			
		0,9 . 0,3		
30	40,0 . 37,5	Der obere Teil des Bandes weniger gedehnt. Das Ringband gar nicht gespannt.		
		0,1 . 0,2		
40	40,1 . 37,7	0,1 . 0,2		
50	40,2 . 37,9			
Entlastet			0 . 0	nach 50 Kgr vollkommen zurückgefedert.
		0,1 . 0,5		
60	40,3 . 38,4	Knistern.		

Gesammtdehnung nach 60 Kgr: 2,2 mm unten, 1,9 mm oben; dabei ist die Elasticität noch eine vollkommene.

Mit 70 Kgr reisst das Zwischenknochenband im untern Drittel an einer kleinen Stelle in feine Fasern auf; gleichzeitig lösst sich die Verbindung zwischen den obern Gelenkenden; nunmehr spannt sich erst das Ringband.

Mit 85 Kgr reisst der mittlere Teil des Zwischenknochenbandes, ebenso die untere Gelenkverbindung.

Dehnungen der Kapsel am Hand- und Ellenbogengelenk.

Zurückkehrend zu den durch obiges Band zu einem Ganzen vereinigten Gelenken muss noch der durch die Zugversuche veranlassten Dehnungen Erwähnung geschehen.

Im Allgemeinen folgen sie den bei den übrigen Gelenken beobachteten Erscheinungen, haben aber doch den einzelnen Gelenkteilen entsprechend besondere Eigentümlichkeiten.

Der verschieden starken Befestigung der einzelnen Gelenkteile entsprechend erfolgten auch die Dehnungen verschieden:

Das schwächere obere Radius- und untere Ulna-Gelenk wurden viel stärker und viel eher bleibend gedehnt als die beiden andern

Gelenkteile; entsprechend dem Satze, dass ein schwächeres Gelenk mehr und eher bleibend gedehnt wird.*)

Einige Beispiele sollen den Dehnungsverlauf veranschaulichen:

Gemessen wurde nach jeder von 3 zu 3 Minuten erfolgenden Mehrbelastung an Reissnägelmarken die seitlich ober- und unterhalb der Gelenke in den Knochen befestigt waren (z. B. innen am Oberarmknochen und an der Ulna für den ulnaren Ellenbogengelenkteil, innen an der Ulna und am Pyramidenbein für den ulnaren Handgelenkteil).

Eingespannt waren der Oberarmknochen durch Bolzung, die Hand durch Querklammerung, so dass Hand- und Ellenbogengelenk gleichzeitig geprüft wurden. (Siehe Tabelle nächste Seite.)

Aus dem Dehnungsverlauf nachstehender Tabelle erhellt deutlich das symmetrische Verhältnis der obern zu den untern Enden der Unterarmknochen in ihrer Gelenkverbindung; z. B.:

nach 50 Kgr	oben mm	unten mm
ist die bleibende Dehnung an der Ulna	0,6	1,2
„ „ „ „ am Radius	1,2	0,5
die durch 50 Kgr		
erzeugte Gesammtdehnung an der Ulna	0,9	6,1
„ „ am Radius	7,2	0,5

und so weiter.

Ein zweites Beispiel gibt die gleichen Erscheinungen:

Frühere Vers.-Nr. 6 bei Einspannung III des Handgelenkes.

Arbeiter einer Schweizerei, 29 Jahre alt, 171 cm lang, 53 Kgr schwer. Todesursache: Tuberkulose.

Linkes Ellenbogen- und Handgelenk in natürlicher Verbindung auf Längszug beansprucht: (S. Tabelle S. 113.)

---

*) In der eingangs citirten Arbeit Schulze's fand ich 2 Versuche von permanentem (24stündigem) Zug mit 8 Pfund:

	radial	ulnar
Diastase im Ellenbogengelenk	2,5	0,1 mm,
Diastase im Handgelenk	3,5	9 mm.

Diese ungleichen Dehnungen, welche den verschiedenartigen Bau der beiden Gelenkseiten kennzeichnen, werden durch meine Zahlen bestätigt.

Linkes Hand- und Ellenbogengelenk (als Ganzes geprüft).

Frühere Vers.-Nr. 4. Einspannung III. Tapezirer, 19 Jahre alt, 35 Kgr schwer, 164 cm lang.

Todesursache: Phtisis pulmon.

Hand:

Belastung Kgr	Dehnung ulnar . radial mm	Dehnungszuwachs ulnar . radial mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung ulnar . radial
0 bis 10*)	2,6 . 0		
		1,5 . 0,2	nach 10 Kgr 0 . 0
20	4,1 . 0,2		
		2,0 . 0,3	nach 20 Kgr 0 . 0
50	6,1 . 0,5		
		2,3 . 1,8	nach 50 Kgr 1,2 . 0,5
80	8,4 . 2,3		
			nach 80 Kgr 2,7 . 0,8
100	11,7 . 3,0		
		5,6 . 0,1	nach 100 Kgr 6,1 . 0,8
120	17,3 . 3,1		

Knistern, Ulna gel. unten, Radius gel. oben stark ausgezogen, die Kapsel an ihnen durch den äussern Luftdruck eingedrückt, ligament. inteross. in den obern Fasern schlaff, in den untern stark gespannt; chorda transversal. stark gespannt.

Unter fortwährendem Knistern verschieben sich die beiden Knochen der Art aneinander, dass der Radius unten die Ulna um ein bedeutendes Stück (etwa 2 cm) überragt und die Kapsel an der ulnaren Seite des Handgelenkes stark eingezogen ist; das ligament. inteross. ist jetzt auch im obern Teil stark gespannt.

Mit 130 Kgr wird volar und ulnar unten von der Ulna die Kapsel gelöst, gleichzeitig der Radius aus dem Ellenbogengelenk gezogen; das ligament. inteross. unten von der Ulna abgerissen.

*) Siehe Anm. Seite 110.

Ellenbogen:

Belastung Kgr	Dehnung ulnar . radial mm	Dehnungszuwachs ulnar . radial mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung ulnar . radial
0 bis 10*)	0,5 . 1,9		
		0,3 . 1,2	nach 10 Kgr 0 . 0
20	0,8 . 3,1		
		0,1 . 4,1	nach 20 Kgr 0,5 . 1,1
50	0,9 . 7,2		
		0 . 2,3	nach 50 Kgr 0,6 . 1,2
80	0,9 . 8,5		
		2,8 . 2,7	nach 80 Kgr 1,2 . 1,8
100	3,7 . 11,2		
		0,8 . 4,2	nach 100 Kgr 1,2 . 2,9
120	4,5 . 15,4		

Mit 130 Kgr wird der Radius oben aus dem Ringband herausgezogen; die obern Fasern des ligament. inteross., die ursprünglich schief zum Radius aufsteigen, sind nunmehr quer gespannt und tragen mit der chorda transversalis als Rest der Verbindung zwischen Radius und Ulna noch 80 Kgr, damit reissen die oberen Fasern des Zwischenknochenbandes; zuletzt wird mit 50 Kgr die chorda von der Ulna gerissen und damit jede Verbindung zwischen Radius und Ulna gelöst.

Aus dem allmälichen Bruch der einzelnen Verbindungen des Unterarmes aus Tabelle letzter Seite lässt sich auf Fig. 12 die Verteilung der Bruchbelastungen für die einzelnen Teilverbindungen folgendermassen übertragen:

Radius + Ulna tragen am untern Handgelenkende . . 130 Kgr
Radius + Ulna tragen am obern Ellenbogengelenkende . 130 „
Radius allein trägt dann noch unten an der Hand . . 150 „
Ulna allein trägt dann noch oben am Ellenbogen . . 130 „

und zwar sind bei Radius + Ulna = 130 Kgr alle Verbindungen noch erhalten: a + b + c + d (siehe Fig. 12);

nach Durchreissen der Verbindungen a und b geht die Ulna aus dem Handgelenk, der Kopf des Radius schlüpft durch das wenig gespannte Ringband nach unten heraus (mit 130 Kgr);

alsdann tragen die übrigen Teilverbindungen von Radius + Ulna nämlich c und d noch 80 Kgr;

der letzte oberste Rest d zum Schlusse noch 50 Kgr.

Zugversuche am Hand- und Ellenbogengelenk Neugeborener.

Die Prüfung wurde in der Art gemacht, dass die Hand und der Oberarm mit Holzbeilagen in Eisenklammern, wie bei andern Gelenken schon erwähnt, eingespannt und so beide Gelenke zugleich geprüft wurden; war einer der Knochen aus einem Gelenk ausgerissen worden, so wurden die übrigen Gelenkteile ebenfalls durch Einklammerung der betreffenden Knochen (Radius oder Ulna) weiter geprobt.

Die Resultate waren folgende:

Vers.-Nr. 1.

Neugeborenes Mädchen, 3600 gr schwer, 50 cm lang.

Im rechten Ellenbogengelenk:

Radius + Ulna mit 7,5 Kgr Kapselriss vorn am process. coronoid. durch das ganze Gelenk.

Im rechten Handgelenk:

Radius + Ulna (oben quer beide hoch geklammert) mit 11,5 Kgr Epiphysenbruch der Ulna.

Im rechten Handgelenk:

Radius (allein hoch oben geklammert) mit 14 Kgr Epiphysenbruch.

Linkes Hand- und Ellenbogengelenk (im Ganzen gezogen).

Vergl. Seite 91 und 97.

Hand:

Belastung Kgr	Dehnung radial . ulnar mm	Dehnungszuwachs radial . ulnar mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung radial . ulnar
0 bis 10*)	0,8 . 3,4		
		1,6 . 3,3	nach 10 Kgr 0 . 2,4
50	2,4 . 6,7		
Krachen im Gelenk.		1,7 . 1,3	nach 50 Kgr 0,2 . 2,8
100	4,1 . 8,0		
		1,7 . 2,1	nach 100 Kgr 0,6 . 3,6
150	5,8 . 10,1		
Starkes Knistern.		5,6	nach 150 Kgr 2,0 . 5,3
200	11,4	Luft dringt in das ulnare Gelenk; Ulna wird herausgerissen mit 200 Kgr.	

Ellenbogen:

Belastung Kgr	Dehnung radial . ulnar mm	Dehnungszuwachs radial . ulnar mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung radial . ulnar
0 bis 10*)	5,3 . 0,5		
		1,3 . 1,9	nach 10 Kgr 0,6 . 0
50	6,6 . 2,4		
		0,3 . 1,6	nach 50 Kgr 1,1 . 0,2
100	6,9 . 4.0		
		2,7 . 1,8	nach 100 Kgr 1,8 . 0,8
150	9,6 . 5,8		
		7,7	nach 150 Kgr 1,8 . 0,8
200	17,3	Radiusgelenk stark ausgezogen, das aber noch etwas hält; erst nach dem ulnaren Bruch im Handgelenk mit 200 Kgr wird oben der Radius vollkommen herausgerissen; Luft dringt zischend ein.	

*) Vergleiche Schulze's Resultat in der Anmerkung auf Seite 110.

Vers.-Nr. 2.

Neugeborenes Mädchen, 4660 gr schwer, 45 cm lang.

Im rechten Handgelenk:

Radius + Ulna, mit 10,5 Kgr Epiphysenlösung an der Ulna.

Im rechten Ellenbogengelenk:

Radius + Ulna mit 10,5 Kgr (gleichzeitig mit dem Bruch am untern Ulnaende) wird oben der Radius aus dem Ringband gezogen.

Weiterhin trägt:

Im rechten Handgelenk:

Radius (allein) nochmals 10,5 Kgr (damit erfolgt Epiphysenlösung desselben).

Im rechten Ellenbogengelenk:

Ulna (allein) noch 9,5 Kgr (damit erfolgt Epiphysenlösung am Olecranon).

Dieser Versuch beweist, dass auch beim Neugeborenen (wie beim Erwachsenen) die schwächeren Gelenkknochenenden durch die Bandverspannung auf die Bruchfestigkeit der Stärkeren mit heraufgenommen werden. Ferner zeigt Vers. 2 und namentlich 1, dass auch beim Neugeborenen das Handgelenk (besonders der radiale Teil) schon stärker angelegt ist als das Ellenbogengelenk.

Der linke Arm von demselben Neugeborenen zeigt dieselben Verhältnisse und Bruchbelastungen wie der Rechte:

Vers.-Nr. 3.

Im Handgelenk:

Radius + Ulna, mit 10 Kgr Epiphysenlösung an der Ulna.

Im Ellenbogengelenk:

Radius + Ulna, mit 10 Kgr gleichzeitig der Radius aus dem Ellenbogengelenk gezogen, wie der ulnare Teil des Handgelenkes gelöst ist.

Ausserdem trägt nochmals:

Im Handgelenk:

Radius (allein) 11,5 Kgr (Epiphysenbruch).

Im Ellenbogengelenk:

Ulna (allein) 9,5 Kgr (Kapsel zuerst vorn, dann ganz von ihr abgelöst).

Die bei diesen Versuchen beobachteten Dehnungen boten die gleichen Eigentümlichkeiten für das radiale und ulnare Gelenk wie

beim Erwachsenen, zeigten dieselbe Zunahme mit steigender Belastung wie sie bei den früheren Gelenkversuchen an Neugeborenen bereits angegeben wurde.

Hebelversuche am Ellenbogengelenk.

Eingespannt wurden die Unterarmknochen auf dem um 45° geneigten Consolenwinkel (Fig. 3b) so, dass die dorsale Seite derselben nach oben gerichtet war; gehebelt wurde am Oberarmknochen mittelst des Flaschenzuges in vertikaler Richtung nach aufwärts, also nach der dorsalen Seite des Gelenkes zu. Es wurde demnach bei gestreckter Stellung des Gelenkes die vordere Kapselwand beansprucht.

Der Kapselriss erfolgte immer auf der vordern Seite in querer Richtung oberhalb des processus coronoideus und ging dann rasch auf das ligamentum internum über; er glich fast vollkommen dem durch Längszug erzeugten; nur wurde der Radius nicht aus dem Ringband gezogen, sondern das ligament. externum riss fast gleichzeitig mit dem internum oberhalb des Ringbandes ein.

Die Länge des Hebels wurde am Oberarmknochen gemessen von dem Punkte, an welchem der Flaschenzug an ihm wirkte, bis zum obersten Ende des Olecranon, an welchem sich der abgehebelte Oberarmknochen stützte; im Mittel betrug sie 9 cm.

Folgendes sind die Resultate:

Vers.-Nr. 1.

Taglöhner, 21 Jahre alt. Todesursache; Tuberculosis pulmon.
R. Ellenbogengelenk mit 65 Kgr vorn aufgebrochen;
(Vergleich: Zug am linken Gelenk: 180 Kgr).

Vers.-Nr. 2.

Taglöhner, 26 Jahre alt. Todesursache: Tuberculosis pulmon.
R. Ellenbogengelenk mit 70 Kgr vorn aufgebrochen.

Vers.-Nr. 3.

Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt. Todesursache: Tubercul. pulmon.
R. Ellenbogengelenk mit 46 Kgr vorn aufgebrochen.

Stellt man auf Grund der früher entwickelten Formeln der Spannungen Vergleiche an zwischen den Bruchbelastungen für Zug, wobei die Einheitsspannung für 1 cm Gelenkumfang $S = \frac{P}{U}$ (Bruch-

belastung : Gelenkumfang) ist, und Hebel, wobei die Maximalspannung für die am meissten beanspruchte vordere Seite

$$S_{mx} = \pi \cdot {}^{8}/_{3} \cdot \frac{P' \times l}{U^2} \left(\begin{matrix} P' = \text{Bruchbelastung} \\ l = \text{Hebellänge} \end{matrix} \right),$$

so kommt man zu folgender Uebereinstimmung:

Gelenkumfang U sei im Mittel 22 cm (gemessen über die Condylen des Humerus zum Olecranon)

Hebel l sei im Mittel 9 cm.

	Hebel-Bruchbelastung	Zug-Bruchbelastung	Spannung pro 1 cm Bandbreite	
			S_{mx}	S
Vers.-Nr. 1.	65 Kgr	180 Kgr (Link. Gelenk vergl. frühere Vers.-Nr.)	10 Kgr	8 Kgr
Vers.-Nr. 2.	70 Kgr	169 Kgr im Mittel	11 Kgr	8 Kgr
Vers.-Nr. 3.	46 Kgr		7 Kgr	8 Kgr

Hebelversuche am Handgelenk.

Dieselben wurden ausgeführt am Kreishebel (Fig. 3 a) in der Weise, dass die beiden Unterarmknochen zwischen die beiden Klemmbacken mit der dorsalen Seite nach oben eingeklammert wurden, die Hand durch einen Mitnehmerstift (D) nach der dorsalen Seite hin umgelegt wurde; die Hebellänge war 3 cm.

Es entsprach diese Versuchsanordnung also ungefähr dem Umbiegen der Hand bei Sturz auf den vorgestreckten Unterarm (abzusehen von dem beim Sturz erfolgenden Stoss auf den Unterarm selbst). Bemerkenswert war es nun, dass bei diesem Umlegen der Hand kein Kapselriss erfolgte; die Hand konnte vielmehr auf die dorsale Fläche des Unterarmes vollkommen herüber gehebelt werden, während die sehr starken Bänder sich nur dehnten, die kleinen Knochen der Handwurzel sich nur etwas aneinander verschoben.

Damit stimmt die Erfahrung überein, dass Luxationen im Handgelenk sehr selten sind, dass es viel häufiger zum typischen Bruch des Radius kommt (vergleiche auch die Häufigkeit des Radiusbruches beim direkten Achsenzug, Seite 94 und 102).

Als Beispiel dienen:

Vers.-Nr. 1.

Taglöhner, 26 Jahre alt. Todesursache: Tubercul. pulmon.

R. Hand mit Hebel 3 cm durch 146 Kgr umgelegt.

Dieselbe Hand (Radius + Ulna) trägt alsdann noch im Achsenzug 250 Kgr. (S. 97. Vers.-Nr. 5.)

Vers.-Nr. 2.

Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt. Todesursache: Tubercul. pulmon.

R. Hand mit Hebel 3 cm durch 48 Kgr umgelegt.

Dieselbe Hand (Radius + Ulna) trägt alsdann noch im Achsenzug 140 Kgr. (S. 98. Vers.-Nr. 7.)

Berechnet man ähnlich wie vorher beim Ellenbogengelenk, die Zug- und Hebelspannung für diese Fälle, so findet man folgende Uebereinstimmung:

Unter der Annahme, dass

der Gelenkumfang U = 12 cm,

der Hebel l = 3 cm sei:

	Bruchbelastung		Spannung pro 1 cm Bandbreite	
			S_{mx}	S
	für Hebel	für Zug	für Hebel	für Zug
Vers.-Nr. 1.	146 Kgr (bezw. umgelegt ohne Bruch)	250 Kgr	25 Kgr	21 Kgr
Vers.-Nr. 2.	43 Kgr (umgelegt ohne Bruch)	140 Kgr	8 Kgr	12 Kgr
Im Mittel	95 Kgr	184 Kgr	16 Kgr	15 Kgr

Wirbelsäule.

Zugversuche.

Die Wirbelsäule wurde bei zwei Männern und zwei Weibern in verschiedenen Abschnitten auf Zug in der Weise geprüft, dass der Körper des obersten und untersten Wirbel in horizontaler Richtung durch starken Messingdraht fest umgürtet wurde. Beiderseits von den process. transversis wurde dieser Drahtring durch Seilschlingen senkrecht nach auf- beziehungsweise abwärts gezogen, Der Wirbelsäulenabschnitt hing also vertikal in der Maschine

(Fig. 1). Die Wirbel waren in ihrem natürlichen Zusammenhang mit ihren Bändern erhalten; an den Brustwirbeln waren auch die Gelenkenden der Rippen belassen worden.

In einigen Fällen kam es bei diesen Zugversuchen zum Abscheeren der Querfortsätze durch den (infolge des Zuges) einschneidenden Drahtring, in vielen Fällen aber konnten verschiedene Wirbelkörper von einander abgerissen werden. Der Bruch erfolgte meistens rein durch die Zwischenscheiben; nur einige Male wurde ein Stück von den Wirbelfortsätzen oder vom Wirbelkörper selbst mit abgerissen. Er begann öfters im Bereich des Wirbelkanals; an den Bändern der Querfortsätze, Dornfortsätze, in der hinteren Hälfte der Zwischenscheibe; von da ging dann der Bruch rasch durch die Zwischenscheibe bis zum vordern Rande, wo das ligament. longitudinale anterius meist etwas grösseren Widerstand bot. Nur im obern Teil der Brustwirbelsäule erfolgte der Aufbruch zuerst vorn, weil hier die Säule die grösste Concavität nach vorn besitzt.

Eigentümlich war es diesem Bruche durch die Zwischenscheibe, dass dieselbe wie ein Körper für sich zwischen den beiden Wirbeln ausgezogen wurde, indem sie mit ihrem hintern Rande am einen (gewöhnlich am obern), mit dem vordern Rande am andern Wirbel hängen blieb da, wo sie mit dem hintern beziehungsweise vordern Längsbande inniger verwachsen war. Die mittlere gelatinöse Masse blieb teils am einen, teils am andern Wirbel hängen und wurde stark in die Länge gezogen. Nur in zwei Fällen ging der Bruch teilweise durch die Zwischenscheibe und teilweise durch den Wirbelkörper: bei einer 21 jährigen Blumenmacherin wurde der 8. Brustwirbel bei 300 Kgr mit der hintern Hälfte seines Körpers abgerissen, vorn ging der Bruch durch die Zwischenscheibe zwischen dem 8. und 7. Brustwirbel; bei einer 32 jährigen Schuhmachersfrau (150 cm lang, 40,5 Kgr schwer) wurde der 3. Brustwirbel vom 4. bei 230 Kgr abgerissen in der Hauptsache an der Zwischenscheibe, nur hinten mit einer Ecke aus dem 3. Brustwirbel.

Die Bruchbelastungen stellen sich im Mittel für den

Halswirbel auf	113 Kgr
Brustwirbel auf	210 „
Lendenwirbel auf	410 „
Verbindung des Lendenwirbels mit Kreuzbein	262 „

Die ganze Wirbelsäule nimmt also an Festigkeit von oben nach unten zu; ist am stärksten im mittleren Lendenteil; die Verbindung zwischen Lendenteil und Kreuzbein ist wieder bedeutend schwächer. Es ist ganz natürlich, dass gerade der Lendenteil der stärkste ist, weil er auch am meisten auszuhalten hat: beim Heben einer Last vom Boden in halbgebückter Stellung wirkt das ganze von den Armen aufgenommene Gewicht durch den geneigten Oberkörper als einen langen Hebelarm gerade auf den untern Teil der Wirbelsäule. Auch in den einzelnen Abschnitten der Wirbelsäule nimmt die Bruchbelastung von oben nach unten zu, wie die folgende Zusammenstellung zeigen wird. Zwischen den Geschlechtern trat kein deutlicher Unterschied hervor.

Bei der Prüfung auf Zugfestigkeit kamen, wie oben bemerkt, immer die ganzen Abschnitte der Wirbelsäule zur Einspannung, nie zwei Wirbel allein für sich; dadurch wurde auch die schwächste Stelle des betreffenden Abschnittes zuerst gefunden. In einer Versuchsreihe kam sogar die Wirbelsäule als Ganzes in die Maschine (32 jähr. Schuhmachersfrau). Folgende Fälle mögen als Beispiele dienen:

I. Halswirbelsäule.

Vers.-Nr. 1.

Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt, 150 cm lang, 40,5 Kgr schwer. Todesursache: Tuberkul. Meningitis.

Wirbelsäule zuerst als Ganzes am 2. Hals- und letzten Lenden-Wirbel eingespannt:

Zwischen 4. und 5. Halswirbel aufgebrochen mit 70 Kgr; alsdann wurde der 5. Halswirbel eingespannt:

Bruch zwischen 5. und 6. Halswirbel mit 120 Kgr; hierauf wurde der 6. Halswirbel eingespannt:

Bruch zwischen 6. und 7. Halswirbel mit 150 Kgr.

I. Halswirbel.

Vers.-Nr. 2.

Oekonom, 145 cm lang, 42 Kgr schwer, 34 Jahre alt. Todesursache: Myodegeneratio cordis.

Schädel mit Wirbelsäule bis zum 12. Brustwirbel herab eingespannt. Der Schädel hängt in zwei Halfterseilschlingen, welche in frontaler Richtung denselben vor und hinter dem foramen magnum

nach oben umgürten; der 11. und 12. Brustwirbel werden durch Drahtgurten in der Maschine senkrecht nach abwärts gezogen:

Die Verbindung zwischen 2. u 3. Halswirbel reisst mit 150 Kgr
„ „ „ 6. u. 7. Halswirbel „ mit 150 Kgr
durch.

II. Brustwirbel.

Vers.-Nr. 3.

Schuhmachersfrau, wie Vers.-Nr. 1 (32 Jahre alt).

Erster Brustwirbel und letzter Lendenwirbel mittelst Drahtgurten eingespannt:

Vom 1. Brustwirbel werden die process. transvers. et spinos. abgescheert bei 170 Kgr.

Die Verbindung zwischen 2. und 1. Brustwirbel also ⩾ (stärker als) 170 Kgr.

Zwischen 3. und 4. Brustwirbel reisst die Zwischenscheibe mit 230 Kgr durch.

(Ein Knocheneck links hinten unten bricht aus dem 3. Brustwirbel.)

Vers.-Nr. 4.

Oekonom, 34 Jahre alt, wie Vers.-Nr. 2.

2. Brust- und 11. Brustwirbel eingespannt:

Die Verbindung zwischen 4 u. 5. Brustwirbel reisst bei 150 Kgr
„ „ „ 9. u. 10. Brustwirbel „ bei 200 Kgr
durch.

In beiden Fällen beginnt der Bruch vorn zwischen den Wirbelkörpern.

Vers.-Nr. 5.

Blumenmacherin, 21 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

Die Wirbelsäule ist am 7. Halswirbel oben und 12. Brustwirbel unten eingespannt.

Die Zwischenscheibe zwischen 3. und 4. Brustwirbel wird vorn zuerst aufgebrochen mit 150 Kgr.

Ebenso von vorn die Verbindung zwischen 4. und 5. Brustwirbel mit 190 Kgr.

Dieser Aufbruch von vorn lässt sich, wie oben erwähnt, erklären aus der hier nach vorn concaven Form der Wirbelsäule,

welche beim Versuch durch den senkrecht gerichteten Zug vorn aufgebogen, hier also etwas mehr beansprucht wird.

In der untern Hälfte der Brustwirbelsäule gleicht sich dies wieder mehr aus; daher wurde dieser Teil bei den Zugversuchen einige Male hinten aufgebrochen. Von Nr. 5 wird die Verbindung zwischen 7.—8. Brustwirbel wieder, wie in den meisten Fällen, im Bereich des Wirbelkanals aufgerissen mit 300 Kgr; und zwar wird hier (zum zweiten Mal, wie bei Nr. 3) der Körper des 8. Brustwirbels schief von hinten unten her zur Hälfte mit abgebrochen; vorn geht der Bruch durch die Bandscheibe.

III. Lendenwirbel.

Mit Drahtschlinge eingespannt am 2. und 3. Lendenwirbel:

Vers.-Nr. 6.

Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt (wie Vers.-Nr. 1).

Die Zwischenscheibe des 2. und 3. Lendenwirbels reisst in der Gegend des Wirbelkanals mit 410 Kgr durch.

Vers.-Nr. 7.

Oekonom, 34 Jahre alt (wie Vers.-Nr. 2).

Mit Drahtschlinge am 3. Lendenwirbel nach oben und beiderseitige Seilschlinge am Kreuzbein nach unten gezogen.

Der 5. Lendenwirbel bildet mit dem Promontorium einen nach hinten offenen stumpfen Winkel von 110—120°; an der vorn sehr mächtigen Zwischenscheibe liegt der Scheitel dieses Winkels. Die ganze Lendenwirbelsäule ist hier im untern Abschnitt nach hinten concav in einem Winkel von 150°. Durch eine Belastung von 50 Kgr wird dieser Winkel auf 170° erweitert; die Säule also fast gerade gestreckt; die Zwischenscheiben werden vorn verschmälert, zusammen gedrückt; bei Entlastung federt die Wirbelsäule nach hinten wieder zurück.

Mit 225 Kgr reisst die Verbindung zwischen dem 5. Lendenwirbel und Kreuzbein von rückwärts auf. Das ligament. longitut. anter. (5 cm breit) hält dann allein noch 85 Kgr.

Mit 250 Kgr bricht ebenfalls von hinten her die Verbindung zwischen 3. und 4. Lendenwirbel auf.

Vers.-Nr. 8.

Taglöhner, 55 Jahre alt. Todesursache: Myodegenerat cordis.

Verbindung zwischen dem 5. Lendenwirbel und Kreuzbein von hinten mit 300 Kgr aufgebrochen.

Dehnungen.

Die bei diesen Zugversuchen zwischen je zwei Wirbeln eintretenden Dehnungen waren sehr gering; für 100 Kgr Belastung öfters kaum $^1/_{10}$ mm.

Als Messpunkte dienten wiederum Reissnägel, die auf der Vorder- und Seitenfläche des Wirbelkörpers eingeschlagen waren.

Folgendes sind einige Resultate der Messungen:

Blumenmacherin, 21 Jahre alt.
Todesursache: Tuberkul. pulmon.

	Belastung Kgr	Markenabstände zwischen: 10. und 11. — 20,5 mm Dehnung mm	Zuwachs mm	8. und 10. — 44,0 mm Dehnung mm	Zuwachs mm	7. u. 8. Brustwirbel 22,5 mm Dehnung mm	Zuwachs mm
	1	0					
			0,2		0		0
	50	0,2		0		0	
			0,3		0,4		0,7
	100	0,5		0,4		0,7	
Entlastet	0	0,5 Bleibende Dehnung		0		0,4	
			0,5		0,7		0 für 100 bis 150 Kgr
	150	1,0 Gesammt-Dehnung		1,3		0,7	
	0	0,7 Bleibende Dehnung		0		0,6	

Mit 190 Kgr wird der 4. Wirbel sammt der Zwischenscheibe abgerissen.

Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt, 150 cm lang, 40,5 Kgr schwer.
Todesursache: Tubercul. Meningitis.

Markenabstände zwischen:

		8. u. 10. Brustwirbel 44,3 mm		12. Brust- u. 1. Lendenwirbel 27,0 mm	
	Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm
			0,7		0,3
	100	0,7		0,3	
			0,5		0,2
	150	1,2		0,5	
			0,1		0,7
	200	1,3		1,2	
Entlastet	0	0 Bleibende Dehnung		0	
			0,1		0
	250	1,4 Gesammt-Dehnung		1,2	für 50 bis 80 Kgr

Bruch zwischen 7. und 8. Brustwirbel bei 250 Kgr.

Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer.

Todesursache: Myodegenerat. cordis.

Markenabstände zwischen:

		3. u. 4. Lendenwirbel 31,9 mm		4. u. 5. Lendenwirbel 31,9 mm		5. Lendenwirbel u. Kreuzbein 36,5 mm	
	Belastung Kgr	Dehnung mm	Zuwachs mm	Dehnung mm	Zuwachs mm	Dehnung mm	Zuwachs mm
	1	0	0		— 1,4 [Stauchung vorn*), daher Verminderung.]		1,7 [vorn sehr dehnbar*)]
	50	0		— 1,4		1,7	
Entlastet	0	0 Bleibende Dehnung		0		0,5	
					— 0,3		0,2 für 50 bis 80 Kgr
	80	0		— 1,1		1,9	
Entlastet	0	0 Bleibende Dehnung		0		0,5	

*) Siehe Anmerkung auf nächster Seite.

		3. u. 4 Lendenwirbel		4. u. 5. Lendenwirbel		5. Lendenwirbel u. Kreuzbein	
	Belastung Kgr	Dehnung mm	Zuwachs mm	Dehnung mm	Zuwachs mm	Dehnung mm	Zuwachs mm
			0		— 0,3 [Verminderung*)]		0,6
	100	0		— 0,8		2,5	
Entlastet	0	0 Bleibende Dehnung		0		0,5	
			0,6		+ 0,5		1,2 für 100 bis 150 Kgr
	150	0,6		+ 0,5 [Erste Dehnung*)]		3,7 [Bedeut. Zuwachs*)]	
Entlastet	0	0,3 Bleibende Dehnung		0,2		1,6	
			0,5		1,9		4,2 für 150 bis 200 Kgr
	200	1,1		2,4		5,4*)	
Entlastet	0	0,7		1,9		1,6*)	

Mit 225 Kgr wird die Verbindung zwischen 5. Lendenwirbel und Kreuzbein aufgerissen.

*) Bemerkenswert ist der Verlauf der Dehnungen bei zunehmender Belastung:

1) Zwischen 3. und 4. Lendenwirbel findet sehr geringe Dehnung statt.

2) Zwischen 4. und 5. Lendenwirbel findet auf der Vorderfläche eine Stauchung statt deswegen, weil der hier von der Wirbelsäule nach hinten offene Winkel von 150° allmälich aufgebogen wird (durch 50 Kgr bis zu 170°), die vorderen Kanten der Wirbel also einander sich nähern. Bei 80 Kgr Zugbelastung ist dieser Winkel fast gerade gestreckt. Erst bei 150 Kgr erfolgt eine wahrnehmbare Dehnung.

3) Die Verbindung zwischen Lendenwirbelsäule und Kreuzbein ist sehr dehnbar im Vergleich zu der ganzen übrigen Wirbelsäule, um mehr als 5 mm durch 200 Kgr, um 1—2 mm durch 100 Kgr schon; sie ist auch sehr elastisch und zieht sich bei der Entlastung nach 200 Kgr noch um zwei Drittel der gesammten Ausdehnung wieder zusammen.

Dieses Verhalten ist jedenfalls von hervorragender Bedeutung für die möglichst freie und selbständige Beweglichkeit der Wirbelsäule, beziehungsweise des Rumpfes gegenüber der Basis des Körpers, dem Becken und den daran befestigten unteren Extremitäten. — Die bedeutende Dehnbarkeit und Elasticität gerade dieser sehr dicken Zwischenscheibe kann auch umgekehrt am besten Stössen, die von unten her die Wirbelsäule treffen, als Puffer entgegenwirken.

Druckversuche an der Wirbelsäule.

Im Zusammenhalt mit obigen Ergebnissen bei Beanspruchung der Wirbelzwischenscheiben auf Zug musste es von besonderem Interesse sein, das gleiche Material auf Compression zu prüfen.

Zu dem Zwecke wurden Abschnitte der Wirbelsäule aus zwei und mehr Wirbeln bestehend, in senkrechter Richtung zur obern und untern Fläche der Wirbelkörper zusammengedrückt.

Die Wirbel waren in ihrer natürlichen Verbindung durch die Zwischenscheiben miteinander vereinigt; an den Brustwirbeln waren die Gelenkköpfe der Rippen erhalten.

Der Druck wurde in der schon oben beschriebenen, ganz gleichen Maschine (Fig. 1) ausgeübt; nur wurde dieselbe in abgeänderter Weise benützt:

Wie eingangs erwähnt, steigt der obere mittlere Wagklotz bei stetiger Belastung der seitlichen Wagschale allmälich höher, weil er an den seitlichen Führungsstangen in Parallelführung zur vertikalen Zugrichtung aufgehängt ist.

Oberhalb dieses Wagklotzes befindet sich ein festes Widerlager in Form einer horizontalen Eisenlamelle, welche in querer Richtung beiderseits im Gerüste der Maschine eingelassen ist. (Fig. 1 und 2.)

Schaltet man zwischen den beweglichen Wagklotz und jenes Widerlager einen Gegenstand — einen Abschnitt der Wirbelsäule senkrecht auf dem Wagklotz stehend — ein, so wird derselbe durch die allmäliche Aufwärtsbewegung des Wagklotzes immer stärker gegen das Widerlager in vertikaler Richtung angedrückt. Bei Abnahme der Belastung von der seitlichen Wagschale geht der Wagklotz mit dem Versuchsobjekt wieder nach abwärts, die Compression des letzteren wird geringer, und bei vollständiger Entlastung zuletzt gleich Null.

Die durch diesen Druck an der Wirbelsäule hervorgebrachte Veränderung und der Rückgang derselben mit der Entlastung wurde an Reissnägeln abgemessen, die vorn beiderseits in den Wirbelkörpern (in der Nähe der Zwischenscheiben) und in den Dornfortsätzen eingeschlagen waren.

Der Druck wurde nicht bis zum vollkommenen Eindrücken

der Wirbel, sondern nur soweit stetig (mit 2—3 Minuten Pause) gesteigert, bis durch die Ablesungen an den Marken eine deutliche Annäherung der Wirbel aneinander zu erkennen war; durch Entlastung und neue Messungen wurde alsdann der Grad der Wiederausdehnung der Zwischenscheiben gefunden, es kam ja bei diesen Versuchen nur darauf an, ein Mass für die Elasticität der Zwischenscheiben bei Druck zu finden.

Das Verhalten des Wirbels selbst bei noch stärkerer Druckeinwirkung zu prüfen, lag ausserhalb des Bereiches der Arbeit. Im Allgemeinen sei nur bemerkt, dass bei Belastungen von etwa 250 Kgr die Kanten einzelner Wirbelkörper in senkrechter Richtung öfters zusammengedrückt wurden und quere Fissuren bekamen. Bei so hoher Belastung trat auch meist eine seitliche Ausbiegung der Wirbelsäule ein.

Vers.-Nr. 1.

Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer.

Todesursache: Myodegeneratio cordis.

Abschnitt: 10. Brust- bis 1. Lendenwirbel (einschliessl.).

Marken: im 11. und 12. Brustwirbel.

	Belastung Kgr	Compression mm	Zuwachs mm
	10	0,35	
	50	0,7	0,35
	100	1,0	0,3
Entlastet	0	0	Keine bleibende Compression.
			0,05
	150	1,05	0,1
	200	1,15	
Entlastet	0	0	

Mit 250 Kgr weicht der gepresste Abschnitt nach rechts hinten aus. Der Körper des 10. Brustwirbels wird vorn links etwas eingedrückt.

Aus dem Verlauf der Compression geht hervor, dass die Zwischenscheibe des 11. und 12. Brustwirbels nach 200 Kgr Belastung noch vollkommen elastisch ist, dass die Zunahme der Compression anfangs eine stetig gleichmässige, späterhin aber sehr gering ist: anfangs für 1 bis 50 und 50 bis 100 Kgr 0,3 mm später für 100 bis 150 Kgr nur 0,05 mm. Die ganze Compression für 100 Kgr beträgt 1 mm.

Vers.-Nr. 2.

Von derselben Wirbelsäule.

Abschnitt: 7. Hals- bis 5. Brustwirbel.

Marken am 1. und 2. Brustwirbel.

	Belastung Kgr	Compression mm	Zuwachs mm	
	10	0,9	1,5	
	100	2,4		
Entlastet	0	0,4		Bleibende Veränderung (wahrscheinlich Verstellung des seitlich rechts etwas ausgebogenen Abschnittes).
	150	4		Zuwachs zwischen 100 und 150 = 1,6.

Mit 150 Kgr wird die vordere Hälfte der Unterfläche des 4. Brustwirbels quer eingebrochen und eingedrückt.

Vers.-Nr. 3.

Dieselbe Wirbelsäule.

Abschnitt: 6. bis 10. Brustwirbel.

	Marken im 6. und 7.			7. bis 9. Brustwirbel.	
	Belastung Kgr	Compression mm	Zuwachs mm	Compression mm	Zuwachs mm
	10	0	0,15	0,05	0,05
	50	0,15	0,1	0,1	0
	100	0,25		0,1	
Entlastet	0	0	Keine bleibende Compression.		0
			0		0
	100	0,25	0,2	0,1	0
	150	0,45		0,1	

Mit 200 bis 250 Kgr wird der Abschnitt vorn ausgebogen; der 6. Brustwirbel auf seiner obern Fläche vorn eingedrückt.

Die Zwischenscheiben wölben sich während der Compression an ihrem Umfang kaum merklich vor.

Unterkiefer.

(Zugversuch.)

34 jähriger Oekonom, 145 cm lang, 42 Kgr schwer. Todesursache: Myodegenerat. cordis.

Der Schädel wurde durch Seilschlingen vor und hinter dem Gelenk in frontaler Richtung gefasst, welche beiderseits in der Gegend der Seitenwandbeine nach aufwärts verliefen.

Der Unterkiefer wurde ebenfalls mit zwei Seilschlingen umfasst, welche jederseits in der Gegend der Eckzähne über denselben wegliefen in sagittaler Richtung und ihn gerade nach abwärts zogen.

Es wurde also bei maximaler Oeffnung der Kiefer ein Hebelzug gerade nach unten auf das Gelenk ausgeübt, wobei der angewandte Hebel der Länge des horizontalen Unterkieferastes bei weit geöffnetem Munde entsprach; (etwa 6 cm lang). Die zur Lösung des Gelenkes notwendige Kraft war 66 Kgr.

Es wurde dadurch die Gelenkkapsel vom rechten Gelenkkopf des Unterkiefers allseitig abgezogen.

Der linke Gelenkkopf folgte alsdann mit 50 Kgr.

Symphysis sacro-iliaca.

Die Darmbeinschaufeln wurden beiderseits durch Seilschlingen in ihren hinteren Abschnitten vom Kreuzbein weg nach aussen abgezogen. Die Seilschlingen umfassten nach folgender Skizze die hintere Ausbuchtung der Schaufeln senkrecht von oben nach unten, indem sie oben über den Darmbeinkamm in der Gegend der spina poster. sup. unten durch das foramen ischiad. maj. herumliefen und auf der äussern (hintern) Fläche der Schaufeln in mittlerer Höhe der Symphysis zugezogen waren (Fig. 16); von hier aus ging

Fig. 16.

der Zug horizontal jederseits nach aussen, so dass also die das Gelenk aus einander reissende Zugkraft mitten durch beide Gelenke senkrecht auf ihre Fläche ging. Das ganze Becken hing alsdann mit der einen Schaufelaussenfläche nach oben, mit der andern nach unten gerichtet senkrecht in der Maschine. Die accessorischen Bänder (lig. sacro-iliaca, ilio-lumbal., spinoso- et tuberoso-sacra)

waren erhalten, dagegen war in allen Fällen die vordere Symphyse schon gelöst. Mit Ausnahme einiger Versuche, in denen beim Zug an der vorderen Symphyse zugleich auch die hintere etwas aufgehebelt worden war, hatte diese Verletzung der vorderen Symphyse wohl wenig Einfluss auf die Zugfestigkeit der hintern (beim Zug in frontal-horizontaler Richtung am hintern Umfang der Darmbeinschaufeln), da gerade bei diesem Zug die vordere wieder fest zusammengepresst wurde durch Hebelwirkung an den sich vorn nähernden Schambeinen.

Der Aufbruch erfolgte immer auf der vordern Seite von oben bis unten gleichmässig und ging rasch nach hinten durch; entweder gleichzeitig doppelseitig oder auch in der einen Symphyse bei etwas niederer Belastung,

Die accessorischen Bänder wurden hiebei nicht zerrissen.

Die Bruchbelastung schwankte zwischen 160 und 310 Kgr., z. Beispiel:

Taglöhner, 55 Jahre alt.	R. mit 310 Kgr
Todesursache: Myodegenerat. cordis.	L. mit 300 Kgr
(die vordere Symphyse hielt 200 Kgr).	
Oekonom, 34 Jahre alt.	R. mit 180 Kgr
Todesursache: Myodegenerat. cordis.	L. mit 160 Kgr
(die vordere Symphyse hielt 150 Kgr).	

In folgenden Fällen scheint die Tragfähigkeit durch die frühere Verletzung der vorderen Symphyse etwas beeinflusst gewesen zu sein:

Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt.	Beide: 170 Kgr
(die vordere Symphyse hielt 200 Kgr).	
Taglöhner, 22 Jahre alt.	Beide: 160 Kgr
(die vordere Symphyse hielt 150 Kgr).	
Schlosser, 41 Jahre alt.	Beide: 90 Kgr

(Im letzten Falle war die Endbelastung [Tragfähigkeit] sicher beeinflusst, indem die eine hintere Symphyse vorn bereits auf 1 mm klaffte.)

Die Dehnungen waren ungemein gering; meist unmessbar; nur kurz vor dem Bruch konnte in einigen Fällen eine Zunahme von 0,5—1 mm beobachtet werden. Die Marken sassen auf der Vorderfläche der Darmbeinschaufeln rechts und links neben der Symphys. sacro-iliaca ungefähr in der Höhe des promontorium und

zwischen beiden in einer horizontalen Verbindungslinie mit denselben eine Dritte auf dem Kreuzbein selbst; ferner wurde je eine Marke rückwärts im Schaufelkamm eingesetzt in der Gegend der Spina poster. super. jederseits ebenfalls in horizontaler Linie. Beispiele der stärksten Dehnungen sind folgende:

Taglöhner, 22 Jahre alt.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0 bis 50	0,2		
		1,1	
100	1,3		
		0	
150	1,3		
			nach 100 Kgr 0 mm

Rechte Symphyse durchbrochen mit 160 Kgr.

Taglöhner, 55 Jahre alt.

Belastung	Dehnung Recht. Gelenk	Dehnung Link. Gelenk	Dehnungszuwachs Recht. Gelenk mm	Dehnungszuwachs Link. Gelenk mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr Rechtes Gelenk	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr Linkes Gelenk
Kgr	mm					
0 bis 50	1,1	0,6	0,3	0,1		
100	1,4	0,7				
			0		0,3 mm nach 100 Kgr	
150	1,4	0,7	0,3	0		
200	1,7	0,7				
					0,3	0,1 mm nach 200 Kgr

Bruch mit 310 Kgr Rechts; mit 300 Kgr Links.

Dehnung mit 200 Kgr, 1,7 mm Rechts; mit 0,7 mm Links.

Symphysis oss. pubis.

Die Zugversuche zur Prüfung der Festigkeit dieser knorpeligen Vereinigung wurden in der Weise angestellt, dass das ganze Becken mit Seilen um die beiden horizontalen Schambeinäste angeschlungen in die Zerreissmaschine (Fig. 1 u. 2) eingespannt wurde. Die Seilschlingen liefen, wie es die Skizze (Fig. 17) andeutet über die obere Fläche der horizontalen Schambeinäste jederseits horizontal nach aussen; unten gingen sie um die aufsteigenden Schambeinäste. Es wurde demnach beiderseits an den Schambeinen

in der frontalen Körperebene horizontal nach aussen gezogen und zwar so, dass genau darauf geachtet wurde die Zugrichtung mitten durch die Schamfuge senkrecht auf die beiden Knorpelflächen zu bringen. Das ganze Becken hing also mit der einen Schaufelaussenfläche nach oben mit der andern nach unten senkrecht in der Maschine.

Nach dieser Anordnung ergab die Prüfung diejenige Kraft, welche erforderlich ist, den Beckenring vorn aufzusprengen, indem sie von innen her auf die beiden Schambeinäste rechts und links von der Symphyse nach aussen wirkte, sowie auch die Art des Bruches.

Unter sechs Fällen wurde fünfmal die Symphyse selbst durchrissen, einmal dicht neben der Symphyse rechts der horizontale und absteigende Schambeinast in einer vertikalen Ebene.

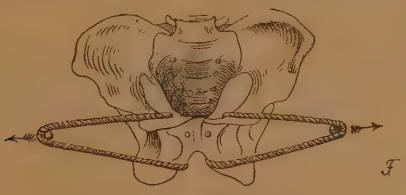


Fig. 17.

Der Bruch durch die Symphyse ging immer von innen aus (von hinten nach vorn), öfters etwas von unten innen her; alsdann riss meist in mehreren Stufen die Symphyse langsam durch: zuerst oben, zuletzt vorn; ja es kam vor, dass das vordere Band noch lange hielt, sich wohl auch dehnte, nach der Entlastung aber elastisch wieder zurückfederte, während die Symphyse selbst schon weit von hinten her klaffte.

Da durch die Anordnung des Zuges die Hauptkraft darauf verwendet wird die Symphyse von innen her aufzusprengen, so musste sich diese Kraft am meisten am äussern Umfang des ganzen Gewölbes äussern; wenn nun gerade dieser äussere Umfang der Symphyse die grösste Bruchfestigkeit ergibt, so ist dies ein deutlicher Beweis der festen Construction gerade dieses Teiles. Der anatomische Bau der Symphyse ist auch darnach eingerichtet: die hintere und obere Bedeckung der Symphyse bildet nur die Knochen-

haut in einer Dicke von 0,5 mm, die vordere aber, die noch dazu mit dem fibrösen Gewebe der Symphyse selbst innig verwachsen ist, hat eine Dicke von 10 mm.

Das fibröse knorpelige Gewebe der Symphyse selbst riss in der Weise, dass Stücke desselben jederseits am Beckenknochen hängen blieben, während die umhüllenden Bänder ganz von einem oder dem andern Knochen abgelöst wurden.

Die Bruchbelastung schwankte zwischen 280 Kgr (41jähr. Schlosser; 173 cm lang, 71 Ko schwer) und 150 Kgr (22jähr. Taglöhner und 34jähr. Oekonom, 145 cm lang, 42 Kgr schwer). Sie berechnet sich also im Mittel auf 197 Kgr.

Aus obigen Zahlen geht schon hervor, dass das Alter wenig Einfluss hat; ebenso macht das Geschlecht keinen Unterschied, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Vers.-Nr. 1.
Maler, 41 Jahre alt, 155 cm lang, 52 Kgr schwer. Todesursache: Nephritis. — mit 200 Kgr Bruch des recht. Schambeins (also Bruchbelastung der Symphyse grösser wie > 200 Kgr).

Vers.-Nr. 2.
Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt, 150 cm lang, 40,5 Kgr schwer. Todesursache: Tubercul. meningitis basilar. — mit 200 Kgr Bruch der Symphyse.

Vers.-Nr. 3.
Taglöhner, 55 Jahre alt, Todesursache: Myodegen. cord. — mit 200 Kgr Bruch der Symphyse.

Vers.-Nr. 4.
Schlosser, 41 Jahre alt, 173 cm lang, 71 Kgr schwer. Todesursache: Tubercul. pulmon. — mit 280 Kgr Bruch der Symphyse.

Vers.-Nr. 5.
Taglöhner, 22 Jahre alt, Todesursache: Tubercul. pulmon. — mit 150 Kgr Bruch der Symphyse.

Vers.-Nr. 6.
Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer. Todesursache: Myodegen. cord. — mit 150 Kgr Bruch der Symphyse.

Die Gewölbeconstruction des Beckens hat wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit der Symphyse. Einen Beleg dafür geben einige Versuche, bei denen die Symphyse ganz in der gleichen Weise wie bisher auf Zug beansprucht wurde, das Gewölbe aber verletzt war:

1) Das Kreuzbein war vorher herausgesägt worden:
   Filia publica, 21 Jahre alt, 156 cm lang, 37 Kgr schwer. Todesursache: Tubercul. pulmon. — mit 65 Kgr wird die Symphyse von hinten nach vorn durchrissen.
2) Nur die Symphyse mit etwa 10—15 cm Länge der beiderseits angrenzenden Schambeinknochen wurde in Klammern eingespannt und ganz in der gleichen Richtung wie oben gezogen:
   Fabrikarbeiterin, 43 Jahre alt, Todesursache: Apoplex. cerebri. — mit 21 Kgr wird d. hintere Band gesprengt, bei stetiger Mehrbelastung geht der Bruch allmälich ganz durch d. Symphyse, das vordere Band aber trägt (unter bedeutender Dehnung) noch 101 Kgr.

Die Dehnungen der Symphyse überhaupt waren immer sehr gering; folgende Beispiele mögen den Verlauf derselben zeigen; die Marken zum Messen waren beiderseits vorn auf den Schambeinen neben der Symphyse angebracht. (Fig. 17.)

Frühere Vers.-Nr. 1.

Maler, 41 Jahre alt.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr
0			
5	0		
		0,1	
20	0,1		
		0,2	
40	0,3		
		0	
50	0,3		
		0	
60	0,3		
		0,1	
90	0,4		
		0	
130	0,4		
		0,8	Knistern bei 190 Kgr; stärkerer Dehnungszuwachs vor dem Bruch.
190	1,2		nach 190 Kgr 0,1 mm

Mit 200 Kgr Bruch der Schambeine rechts.

Die gesammte Dehnung für 130 Kgr = 0,4 mm, bei fast vollkommener Elasticität.

Frühere Vers.-Nr. 5.

Taglöhner, 22 Jahre alt.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf Null nach Kgr
0			
50	0,8	0,8	
			nach 50 Kgr 0,2 mm
100	1,0	0,2	
			nach 100 Kgr 0,2 mm
130	1,8	0,8	
			nach 130 Kgr 0,7 mm
		0,7	
		Krachen; alsdann:	
150_I	2,5	2,5	
150_{II}	5,0	nach wiederholtem Knistern.	

Bruch der Symphyse mit 150 Kgr nach 3 Minuten.

Gesammtdehnung für 150 Kgr (vor dem Krachen) = 2,5 mm

„ „ 130 „ = 1,8 „

Bleibende Dehnung „ 130 „ = 0,7 „

Elastische Dehnung „ 130 „ (1,8—0,7 mm) = 1,1 „

Diese Symphyse ist etwas dehnbarer, wird etwas mehr bleibend gedehnt; sie zieht sich aber nach der Entlastung (nach 130 Kgr) sofort wieder um zwei Drittel der Gesammtdehnung zusammen.

Frühere Vers.-Nr. 4.

Schlosser, 41 Jahre alt.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung nach Kgr
0			
50	0,6	0,6	
100	0,6	0,0	
150	0,9	0,3	
			nach 150 Kgr 0,3 mm
200	1	0,1	
250	1,3	0,3	
280	1,7	0,4	

Mit 200 Kgr Symphyse durchbrochen.

Gesammtdehnung mit 280 Kgr = 1,7 mm
„ „ 150 „ = 0,9 „
Bleibende Dehnung „ 150 „ = 0,3 „
Elastische Dehnung „ 150 „ = 0,6 „ (0,9—0,3).

Diese Symphyse ist weniger dehnbar, wird auch später und weniger bleibend gedehnt. Das Gelenk geht wieder um zwei Drittel der Gesammtdehnung sofort nach der Entlastung (nach 150 Kgr) elastisch zurück.

Aus dem Vergleich von Nr. 5 mit 4 geht hervor, dass Nr. 5 dehnbar ist, stärker bleibend gedehnt wird, aber auch eher bricht; wie eben öfters die Beobachtung gemacht wurde, dass Gelenke, die eher bleibend und stärker durch den Zug verändert wurden, auch meist eine geringere Bruchbelastung aufwiesen. Das Verhältnis der Gesammtsausdehnung zur bleibenden Dehnung ist in beiden Fällen 3 : 1. Auch dieses Verhältnis (oder 2 : 1) kehrte bei anderen Gelenken und ebenso bei einzelnen Bändern öfters wieder.

Syndesmosis acromio-claviculare.

(Zugversuche.)

Die falsche Gelenkverbindung zwischen Schulterblatt und Schlüsselbein bietet insofern in mechanischer Beziehung besonderes Interesse, als sie neben und mit der Schultergürtel-Oberarmmuskulatur die Lasten aufnehmen muss, welche an der oberen Extremität wirken. Sie ist auch im Vergleich zu den wahren Gelenken einer Prüfung auf Zugfestigkeit wert.

Die Einspannvorrichtung zu den Versuchen in der schon beschriebenen Maschine bestand in einer Seilschlinge, welche die Basis des Acromion an der Spina scapulae umfassend die Zugrichtung nach hinten senkrecht auf die Fläche des Schulterblattes besorgte und in einer das Schlüsselbein am sternalen Ende querhaltenden Klammer. Das Abgleiten dieser Feilklobenklammer wurde durch Schmiergelpapier und Holzbeilagen verhütet. (Hiezu Skizzen Fig. 18, welche die Syndesmosis in oberer Ansicht zeigt.)

Die Zugrichtung ging also (nach der Pfeilrichtung in der Skizze) von aussen hinten nach vorn innen möglicht senkrecht durch die Mitte der Bandverbindung und durch die Längsachse

des Schlüsselbeins. Bei der gegenseitigen schiefen Lagerung der beiden Knochen war es allerdings nicht zu vermeiden, dass der Längszug mit leichter Hebelung vorn am Schlüsselbein nach aussen verbunden war; daher kam es auch, dass das Gelenk oft innen zuerst aufbrach; die Resultate behalten aber nichtsdestoweniger den gleichen übereinstimmenden Wert, da alle Fälle in derselben Weise beansprucht wurden.

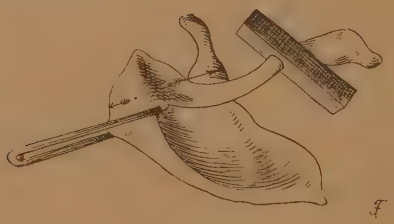


Fig. 18.

Bruchart: Unter 13 Fällen wurde 6 mal zuerst das Ligam. coraco-claviculare und zwar entweder von der Clavicula abgelöst oder in dünne Fäden in der Mitte auseinander gezogen. Die Syndesmose selbst wurde meist zuerst auf der obern Fläche nahe der Clavicula eröffnet; zweimal (R und L bei einem 29jähr. in einer Schweizerei beschäftigten Manne) wurden sofort beide Clavicul. total aus der Bandverbindung wie aus einem Handschuh herausgezogen. Zweimal wurde das Acromion 1 cm nach rückwärts von der Syndesmose parallel zu derselben in frontaler Richtung mit abgerissen und das Gelenk oben eröffnet. Zweimal trat dieser Knochenbruch (einmal auch mit Abbrechen des proc. coracoid.) bei verhältnismässig hoher Belastung ein, ohne dass zugleich das Gelenk eröffnet wurde (53jähr. Maurer, 39jähr. Taglöhner).

Die Bruchbelastung schwankte zwischen 56 und 131 Kgr und berechnete sich im Mittel auf 87 Kgr,

bei Männern auf 91 Kgr

bei Weibern auf 77 Kgr;

also bei Weibern etwas schwächer, wie überhaupt öfters die Gelenke der obern Extremität (Ellenbogen, Hand) bei dem weiblichen Geschlecht etwas schwächer befunden wurden, während bei der untern Extremität ein solcher Unterschied nicht deutlich hervortrat.

Bedeutende Altersunterschiede schienen keinen Einfluss auf die Festigkeit zu haben; es war allerdings von verschiedenen jüngeren Individuen das Gelenk besonders stark (bei 21 jähr. Filia publica: 61 Kgr, bei 26 jähr. Taglöhner: 111 Kgr, 21 jähr. Fabrikarbeiterin: 91 Kgr, 29 jähr. Schweizer: 122 Kgr), aber es kamen auch Fälle von älteren Individuen mit bedeutender Widerstandsfähigkeit zur Beobachtung (bei 53 jähr. Maurer > (grösser als) 121 Kgr, 56 jähr. Hausiererin: 71 Kgr).

Es scheint hier, wie überhaupt bei allen Gelenken, mehr auf persönliche durch Beruf, Uebung, Körperbau, Gesundheitszustand bedingte Eigentümlichkeiten anzukommen, wie aus der folgenden der Höhe der Bruchbelastungen nach zusammengestellten Reihe hervorgeht.

Bei drei Individuen, bei welchen das rechte und linke Gelenk geprüft wurde, war immer das R Gelenk stärker (bei 34 jähr. Oekonom: um 21 Kgr; bei 29 jähr. Schweizer: um 20 Kgr; bei 68 jähr. Taglöhner: um 25 Kgr).

Versuchsnummer	Alter	Gelenk			Bruchbelastungsreihe der wichtigsten Fälle:	
1. Taglöhner,	39 Jahre	L.	>	(stärker als)	131 Kgr;	Bruch des Acromion u. der Clavicula.
2. Maurer,	53	R.	>	„	121 „	Bruch des Acromion.
3. Schweizer, 171 cm lang, 53 Kgr schwer..	29	R.	>	„	122 „	Kapselriss an der Clavicula innen.
4. Derselbe	29	L.	>	„	102 „	Clavicula ganz aus dem Gelenk gezogen.
5. Taglöhner,	26	R.		=	111 „	Kapselriss ob. a. Acrom.
6. „	53	R.		„	91 „	Kapselriss inn. u. oben.
7. Oekonom, 145 cm lang, 42 Kgr schwer.	34	R.		„	91 „	Bruch des Acromion, die Kapsel etwas verletzt.
8. Derselbe	34	L.		„	70 „	Bruch des acromion mit geringer Verletzung der Kapsel.
9. Fabrikarbeiterin,	21	R.		„	91 „	Kapselriss oben.
10. Hausirerin, 154 cm lang, 34,5 Kgr schwer.	56	R.		„	81 „	Kapselriss oben und Bruch des Acromion.
11. Taglöhner,	68	L.		„	56 „	Kapselriss innen.
12. „	68	R.		„	81 „	Kapselriss innen.
13. Filia publica, 156 cm lang, 37 Kgr schwer.	21	L.		„	61 „	Kapselriss innen.

Die Dehnungen der Bandverbindung wurden gemessen an Marken auf der oberen Fläche der Knochen (Fig. 18).

Ueber den Verlauf derselben geben folgende Beispiele Aufschluss.

Früheres Vers.-Nr. 1.

Taglöhner, 39 Jahre alt.

Todesursache: Tuberculosis pulmon.

Linkes Gelenk.

Markenabstand: 60,0 mm.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf 1 Kgr nach Kgr
1 bis 11	1,8		
		0,4	
21	2,2		
		0,2	
31	2,4		
		0,5	
41	2,9		
		0,4	
51	3,3		
			nach 51 Kgr 0 mm (noch vollkommen elastisch)
		0,5	
61	3,8		
		0,4	
71	4,2		
		0,2	
81	4,4		
		0,3	
91	4,7		
		0,5	
101	5,2		
			nach 101 Kgr 0,3 mm
		0,5	
111	5,8	Knistern	
		0,1	
121	5,9		Gesammtdehnung nach 121 Kgr
131	Bruch der Clavicula und des Acromion.		
			nach 131 Kgr 2,8 mm bleibende Dehnung 5,9—2,8 = 3,1 mm elastische Dehnung.

Das Gelenk zieht sich also um die Hälfte der Gesammtausdehnung wieder zusammen nach der Entlastung; Gesammtausdehnung verhält sich zu bleib. Dehnung wie 6:3 = 2:1.

Die bleibende Dehnung ist oft gleich der Hälfte der gesammten Dehnung.

Dasselbe Verhältnis (öfters auch wie 3:1) findet man bei der Prüfung einzelner fibröser Bänder. Auch die Beständigkeit des

Dehnungszuwachses für je 10 Kgr mit den kleinen Schwankungen von 0,2—0,5 mm ist beiden gemeinsam. Abweichend von dieser Stetigkeit ist nur der grössere Dehnungszuwachs kurz vor dem Bruch, welcher in diesem begründet sein kann, und jener bei der ersten Belastung (1,8 mm), welche auf der Ausstreckung des Gelenkes, nicht auf Dehnung der Kapsel, beruht. Diese Streckung findet sich bei andern Gelenken wieder, besonders bei denen mit weiter Kapsel (Schulter).

Abgesehen von dieser erstmaligen Streckung des Gelenkes ist die geringe Dehnbarkeit der Kapsel und dem entsprechend auch die geringe und spät auftretende bleibende Dehnung bemerkenswert. Man findet diese spät eintretende bleibende Dehnung öfters bei Objecten mit sehr hoher Bruchbelastung, so dass man wohl im Allgemeinen annehmen kann, dass die geringe und spät auftretende bleibende Dehnung eines Gelenkes auf eine grössere Tragfähigkeit schliessen lässt.

Das Gegenstück dazu gibt der folgende Fall:

Früheres Vers.-Nr. 11.

Filia publica, 21 Jahre alt, 156 cm lang, 37 Kgr schwer.

Todesursache: Tuberculos. pulmon.

Linkes Gelenk.

Markenabstand: 48,4 mm.

Belastung	Dehnung	Dehnungszuwachs (Differenz)	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf 1 Kgr nach Kgr
Kgr	mm	mm	
1 bis 11	1,1		
51	3,0	1,9	
			nach 51 Kgr 0,4 mm

Mit 61 Kgr Kapselriss innen; schon mit 50 Kgr. ist die Kapsel bleibend um 0,4 mm gedehnt; dem entsprechend ist auch die Bruchbelastung nieder. Die Gesammtdehnung für 50 Kgr beträgt 3,0 mm.

Früheres Vers.-Nr. 9.

Hausiererin, 56 Jahre alt, 154 cm lang, 34,5 Kgr schwer.

Todesursache: Pneumonie.

Rechtes Gelenk.

Belastung Kgr	Dehnung mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf 1 Kgr nach Kgr
1,5	0		
11,5	1,3	1,3	Das Gelenk wird gestreckt.
			nach 10,5 Kgr 0,5 mm
		0,3	
21,5	1,9		
			nach 20,5 Kgr 0,8 mm
		0,4	
31,5	2,3		
51,5	3,1	0,8	für 41,5 Kgr 0,4 Zuwachs. Derselbe ist ziemlich gleichförmig.
			nach 50,5 Kgr 1,2 mm
		0,8	
61,5	3,9		
71,5	4,2	0,3	

Mit 81,5 Kgr bricht das Acromion frontal.

Die Gesammtdehnung beträgt für die Belastung von 50 Kgr 3,1 mm
Die bleibende Dehnung „ „ „ „ „ „ 1,2 „
Die elastische Dehnung „ „ „ „ „ „ 1,9 „

Das Band geht also um mehr als die Hälfte der Ausdehnung zurück.

Stellt man die wichtigsten Fälle aus allen Dehnungsversuchen zusammen, so ergibt sich:

	Belastung	Gesammtdehnung mm	Bleibende Dehnung mm	Elastische Dehnung mm
Früh. Vers.-Nr. 1: L. Gelenk	für 20 Kgr	2,2	0	2,2
Früh. Vers.-Nr. 2: R. Gelenk	für 50 Kgr	1,9	0,7	1,2
Früh. Vers.-Nr. 6: R. Gelenk	für 20 Kgr	1,5	0,3	1,2
Früh. Vers.-Nr. 7: L. Gelenk	für 20 Kgr	1,4	0,3	1,1
Früh. Vers.-Nr. 9: R. Gelenk	für 20 Kgr	1,9	0,8	1,1
Früh. Vers.-Nr. 10: L. Gelenk	für 20 Kgr	1,2	0,2	1

	Belastung	Gesammt-dehnung mm	Bleibende Dehnung mm	Elastische Dehnung mm
Früh. Vers.-Nr. 11:				
R. Gelenk	für 20 Kgr	1,3	0	1,3
Früh. Vers.-Nr. 12:				
R. Gelenk	für 50 Kgr	3,0	0,4	2,6

Aus den Versuchen über Dehnungen ergibt sich im allgemeinen, dass das Gelenk durch die ersten 10 Kgr etwas gestreckt wird, meist um 1 mm; dass ferner die Kapsel selbst dehnbar ist: im ganzen für 20 Kgr um 1—2 mm; dass die bleibende Dehnung nach 20 Kgr in der Regel noch sehr klein ist (0,1 bis 0,5 mm), deutlicher schon nach 50 Kgr, und dass dem Gelenk ein ziemlicher Grad elastischer Dehnung inne wohnt: das Gelenk zieht sich nach 20 bis 50 Kgr Belastung meist um zwei Drittel der Ausdehnung wieder zusammen.

Articulatio sternoclavicularis.

Prüfung auf Achsenzug.

Das Gelenk wurde in der Zerreissmaschine, Fig. 1 und 2 eingespannt und zwar wurde die Clavicula am sternalen Ende quer zu ihrer Längsachse mittelst Eisenklammern (Feilkloben) und Holzbeilagen gefasst, das Sternum in einer zur Längsrichtung etwas schiefen Lagerung der Holzbeilagen, wie es Fig. 19 zeigt, in gleicher Weise gehalten. Die Holzbeilagen waren der Knochen-

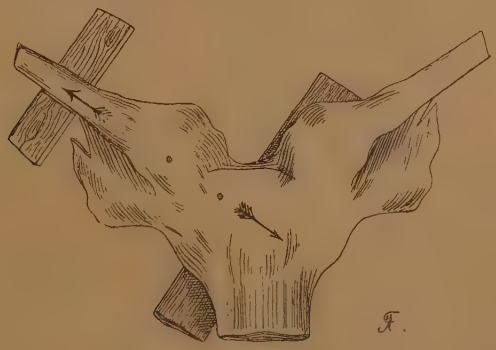


Fig. 19.

form entsprechend ausgeschnitten und noch mit Schmirgelpapier gefüttert, um das Ausgleiten aus den Feilkloben und vom Knochen zu vermeiden.

Die Zugrichtung ging demnach senkrecht auf die Gelenkenden mitten durch das Gelenk.

Bei diesen Zugversuchen erfolgte unter 40 Fällen 11 mal Bruch des Brustbeins, 6 mal Bruch des Schlüsselbeins, 5 mal Epiphysenlösung am sternalen Ende des Schlüsselbeins und nur 18 mal reiner Kapselriss; also nur in 45 % der Fälle. Ein Beweis wieviel stärker die Kapsel gegenüber den Knochen, namentlich dem porösen Brustbein ist.

Der Bruch des Brustbeins verlief gewöhnlich nahe der Einspannung parallel zu dieser, einige Male auch in derselben durch die Compression der Eisenklammern beeinflusst. Der Knochen wurde meist plötzlich, ohne besonderes Knistern vor dem Bruch, durchgerissen und zwar 6 mal bei älteren Individuen (über 50 Jahre) 7 mal bei jüngeren, kräftigen Individuen (z. B. bei einem 19jähr. Taglöhner); im Mittel bei 90 Kgr; zu höchst bei 152 Kgr (49jähr. Mann); zu niederst bei 30 Kgr (65jähr. Mann).

Der Bruch des Schlüsselbeins (6 mal) war meist schief verlaufend und lag im sternalen, porösen Ende des Knochens; im Mittel bei 37 Kgr; bei einem 2jähr. Kind mit 21 Kgr; bei einem 3jähr. Kind mit 31 Kgr; bei einem 6jähr. Kind mit 42 Kgr. Ausserdem im höheren Alter: bei einem 70jähr. Weib mit 52 Kgr, bei einem 73jähr. Mann mit 31 Kgr.

Der Epiphysenbruch an der Clavicula, der eigentlich mit in die Gelenkbrüche (aber ohne Eröffnung der Kapsel) hereinzubeziehen ist (da die Gelenkkapsel sich an der Epiphyse ansetzt), erfolgte nicht gerade bei Kindern am häufigsten, aber doch ausschliesslich im jugendlichen Alter: bei einem 1jähr. Kinde mit 16 Kgr; bei einem 19jähr. Mann mit 61 Kgr; bei einem 39jähr. Mann mit 86 Kgr rechts, mit 81 Kgr links; bei einem 34jähr. Mann mit 111 Kgr.

Der Kapselriss (18 mal unter 40 Fällen) erfolgte: 6 mal auf der vordern Seite in Form von Längsspaltung der Kapselfasern, teils näher der Clavicula, teils am Brustbeinrand (also jenseits oder diesseits vom zwischengelagerten Meniskus; 4 mal auf der

hintern Seite (3 mal vom Brustbein sammt dem Meniskus die Kapsel abgelöst, einmal in Längsrissen).

5 mal wurde von unten her das Ligament. costo-claviculare von der 1. Rippe und die Kapsel sammt dem Meniskus vom Brustbein abgelöst.

3 mal wurde von oben her das immer sehr stark gespannte Ligamentum interclaviculare zuerst eingerissen, alsdann die Kapsel sammt dem Meniskus vom Brustbein abgelöst.

Bei dieser Ablösung der Kapsel vom Brustbein wurde öfters der Knorpelbelag des letzteren und auch Stücke vom Knochen selbst mit abgerissen.

Die Kapsel zeigte vor dem Bruch immer eine mattweisse Verfärbung, wobei einzelne stärker gespannte Fasern anfangs stärker hervorsprangen, dann eher rissen, als es zum eigentlichen Riss der Kapsel kam.

Die Bruchbelastung für die Kapsel schwankte zwischen 36 Kgr an dem hintern Kapselrand (Schuhmacher, 63 Jahre alt) und 161 Kgr (Taglöhner, 21 Jahre alt, Kapsel von oben her vom Sternum abgelöst; und 27 jähr. Taglöhner, Kapsel vorn vom Sternum und der Clavicula abgerissen.

Die mittlere Bruchbelastung für den Kapselriss berechnet sich aus obigen 18 Fällen auf 109 Kgr, während die mittlere Bruchbelastung für die übrigen 22 Fälle der Knochenbrüche 78 Kgr ergibt.

Einige Fälle der höchsten Bruchbelastungen sind:

			Kapselriss
27 jähr.	Taglöhner	mit 161 Kgr	total an der Clavicula
21 jähr.	„	„ 156 „	vorn am Brustbein
21 jähr.	„	„ 161 „	Rechts oben am Brustbein
		„ 141 „	Links
51 jähr.	Privatier	„ 138 „	unten a. d. Schlüsselbeinen.

Ordnet man die Höhe der Bruchbelastung nach dem Orte des Kapselrisses, so ergeben sich folgende Unterschiede:

Kapselriss unten	(5 Fälle)	mit 99 Kgr	im Mittel
„ oben	(3 Fälle)	„ 151 „	„ „
„ hinten	(4 Fälle)	„ 88 „	„ „
„ vorn	(6 Fälle)	„ 126 „	„ „

Demnach ist die obere Kapselwand am stärksten, die hintere am schwächsten, in vollkommener Uebereinstimmung mit ihrer anatomischen Anordnung.

Ein Unterschied zwischen frischen und conservirten Präparaten wurde, wie bei andern Gelenken, nicht gefunden.

Ebenso war der Unterschied zwischen Rechts und Links nicht erheblich.

Das ligamentum costo-claviculare hatte insoferne einen Einfluss, als besonders die medianen Fasern desselben das Gelenk in den meisten Fällen verstärkten; die Erhaltung der lateralen jenseits des tuberculum costae primae gelegenen Fasern hatte wenig Einfluss auf die Bruchbelastung.

Die Dehnungen der Gelenkkapsel,

welche mit stetiger Mehrbelastung auftraten, wurden an Marken gemessen, die auf der Vorder- und Rückseite des Gelenkes in die beiden Gelenkknochen unweit des Kapselansatzes eingeschlagen waren (vergl. Fig. 19).

Sie waren im Anfang, solange sich das Gelenk mit Auflage der ersten 10 Kgr ausstreckte etwas grösser, nahmen alsdann gleichmässig stetig wie bei den andern Gelenken zu, um kurz vor dem Bruch wieder etwas grösser zu werden.

Prüfung des Brustbeingelenkes durch Hebelzug an beiden Schlüsselbeinen.

Beide Gelenke wurden auf Zug nach aussen mit Hebelwirkung nach unten gleichzeitig, in der Weise geprobt, dass beide Schlüsselbeine, wie Fig. 20 zeigt, mit Holzbeilagen in Eisenklammern gelegt und in die Zerreissmaschine eingespannt wurden. Beide Gelenke zugleich wurden demnach auf Zug nach aussen beansprucht, als wenn an den Schultern gezogen würde. Hiebei wurde natürlich die obere Hälfte des Gelenkes und namentlich das ligamentum interclaviculare am meisten gezogen. Dieses spannte sich vom Beginne des Zuges an schon sehr, wurde auch einige Male vor dem eigentlichen Bruch an seinem freien Rande eingerissen. Da sich hiebei der Gelenkkopf des Schlüsselbeines auf dem untern

Rande der sattelförmigen Gelenkfläche am Brustbein stützen konnte, so war dieser Zug auch mit geringer Abhebelung nach unten verbunden.

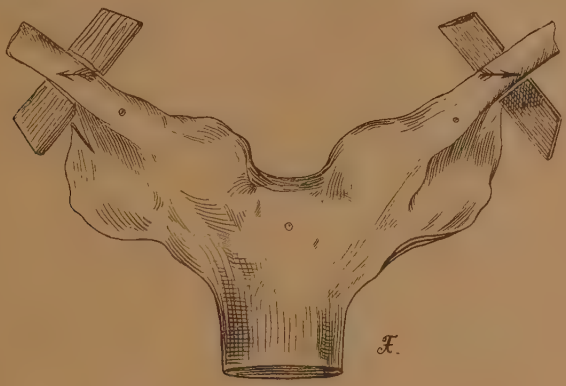


Fig. 20.

Deshalb lag die Bruchbelastung auch meist etwas unterhalb der vom Achsenzug, zum Beispiel:

Versuch	Bruchbelastung: im Achsenzug	im Hebelzug
42jähr. Taglöhner.	L. Gelenk mit 96 Kgr Kapselriss unten am Sternum.	R. Gelenk mit 71 Kgr Kapselriss oben an der Clavicula.
35jähr. Magd.	L. Gelenk mit 81 Kgr Kapselriss am Sternum.	R. Gelenk mit 65 Kgr Epiphysenbruch am Sternum von oben her; mit 50 Kgr Einrisse oben in der Mitte am ligam. interclavicul.
3jähr. Knabe.	R. Gelenk mit 31 Kgr Bruch der Clavicula.	L. Gelenk mit 23 Kgr Kapselriss am Sternum.
34jähr. Taglöhner.	L. Gelenk mit 111 Kgr Epiphysenlösung an d. Clavicula.	R. Gelenk mit 55 Kgr Kapselriss am Sternum.

In zwei Fällen waren die Gelenke besonders stark:

Versuch	Bruchbelastung: im Achsenzug	im Hebelzug
19jähr. Taglöhner.	R. Gelenk mit 61 Kgr Bruch des Brustbeins.	L. Gelenk mit 106 Kgr Epiphysenbruch am Sternum; ligam. interclavicul. von oben her durchgerissen.
49jähr. Taglöhner.	L. Gelenk mit 125 Kgr Bruch des Brustbeins.	R. Gelenk mit 180 Kgr Aufbruch d. Brustbeins von oben her sammt d. ligam. interclavicul.

In diesen beiden Fällen konnte trotz der hohen Belastung kein Gelenkbruch erzielt werden (die Bruchbelastung des Brustbeins im Hebelzug stellt sich deshalb höher als beim Achsenzug, weil dort das Brustbein von oben her, also in der grössten Dimension, durchgerissen werden musste).

Es wurden im Ganzen 12 Gelenke auf diese Weise geprüft; darunter kamen nur 4 mal Kapselrisse vor: 3 mal am Sternum, 1 mal an der Clavicula.

Ausserdem wurde bei jüngeren Individuen (bis zu 32 Jahren) je zweimal Epiphysenlösung am Sternum und an der Clavicula beobachtet; bei älteren Individuen zweimal Bruch des Brustbeins, einmal der Clavicula.

Die mittlere Bruchbelastung berechnet sich auf 109 Kgr, also weniger als beim Achsenzug.

Die höchste Bruchbelastung war 180 Kgr und zwar kam es hiebei nicht zum Gelenk-, sondern Knochenbruch.

Die durch diesen Hebelzug verursachten Dehnungen der Gelenke

wurden, wie Fig. 20 zeigt, durch Messungen an Marken erhalten; und zwar wurden die Entfernungen der Ecken eines Dreieckes in der Weise gemessen, dass von der Marke jeder Clavicula zu der Marke des Sternums, dann von der Marke der einen Clavicula zu der der andern gemessen wurde.

Diese Dehnungen stimmten mit den Beobachtungen an andern Gelenken überein, unterschieden sich aber von den durch Achsenzug an diesem Gelenk erhaltenen dadurch, dass die Zunahme der obern Entfernung von einer Clavicula zur andern grösser war, dass also die obere Gelenkhälfte, wie zu erwarten war, mehr gedehnt wurde.

Kreishebelversuche am sternoclavicularen Gelenke.

Dieselben wurden in der, Fig. 3a dargestellten Maschine in der Weise ausgeführt, dass das Brustbein zwischen die Klemmbacken mit seiner vordern Fläche nach oben oder unten eingespannt, die Clavicula durch den Mitnehmerstift nach vorn oder hinten

umgelegt und so die hintere oder vordere Kapselwand abgehebelt wurde. Die Resultate entsprachen also vollkommen einer Luxation der Clavicula nach hinten oder vorn.

1) Wurde die Clavicula nach hinten umgelegt, so erfolgte der Kapselriss meist vorn am Sternum zwischen diesem und dem Meniskus; öfters mit etwas Knorpelablösung vom Sternum, oder Epiphysenlösung desselben (7 mal unter 13 Fällen); einmal erfolgte Kapselriss an der Clavicula; 3 mal (bei 2 Kindern und 29 jähr. Manne) wurde die Clavicula ohne Bruch umgelegt.

2) Nach vorn umgelegt, erfolgte hinten und gleichzeitig unten Ablösung der Kapsel und des Ligament. costo-claviculare von der Clavicula: 4 mal unter 7 Fällen; 2 mal (bei Kindern) erfolgte Aufbruch der clavicularen Epiphyse; einmal Kapselriss hinten am Sternum.

Die Bruchbelastung, berechnet für den Hebel 3 cm, stellt sich bei der vordern Kapselwand meist etwas höher; dieser kommt also, wie schon aus den früheren Achsenzugversuchen hervorging, eine grössere Festigkeit zu: z. B. bei

	Vordere Kapselwand	Hintere Kapselwand
51 jähr. Mann	40 Kgr	33 Kgr
46 jähr. „	90 „	40 „
25 jähr. „	90 „	45 „

In einem Falle erwies sich die Kapsel als besonders stark:

29 jähr. Mann	171 Kgr	84 Kgr.

In der aus allen Fällen berechneten mittleren Bruchbelastung kommen aber die beiden Kapselseiten einander wieder näher, indem sich für die vordere Wand eine Bruchbelastung von 75 Kgr, für die hintere eine Bruchbelastung von 70 Kgr ergibt.

Vergleicht man hiemit die für Achsenzug erhaltene mittlere Bruchbelastung von 109 Kgr im Mittel, so bleiben obige Zahlen, welche für einen 3 cm langen Hebel gelten, keineswegs darunter, ganz übereinstimmend mit der schon früher gegebenen Erklärung, dass bei Beanspruchung der fibrösen Bänder die Richtung des Zuges weniger Einfluss auf die Bruchbelastung hat, als bei starren Gebilden, welche abgebrochen werden können.

Zugversuche an den Zehen.

Durch die verdickten Enden der metatarsalen und phalangealen Gelenkknochen war die Einspannung in den Feilkloben (unterstützt durch Holz- und Schmiergelpapierbeilagen) sehr erleichtert. Vergleiche Fig. 21. Diese verdickten Enden zogen sich fest in die

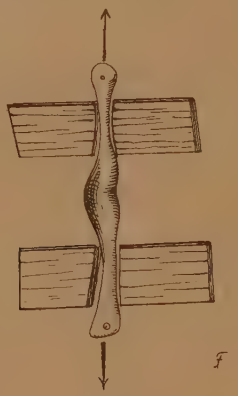


Fig. 21.

Einspannung hinein, verhinderten also das Abgleiten; allerdings war bei verhältnissmässig sehr hoher Belastung dafür wieder die Gefahr des Abscheerens dieser Knochenenden selbst vorhanden.

Zerrissen wurden die Gelenke in der schon beschriebenen Zerreiss-Maschine, Fig. 1 und 2.

Schon durch Auflage weniger Kgr wurde ein vollkommenes Ausstrecken der Gelenke erzielt unter Einziehen der Kapsel zwischen die Gelenkenden, oft unter dem bekannten knackenden Geräusche.

Dabei nahmen die Gelenkknochen, welche normal in einem nach der dorsalen Seite offenen stumpfen Winkel zu einander stehen, eine gerade gestreckte Stellung an, aber stets mit der Eigentümlichkeit, dass der Kopf des Metatarsus plantarwärts stark hervortrat.

Ein durchgreifender Unterschied zwischen dem I. und II. phalangealen Gelenke wurde weder in der Art des Kapselrisses, noch in der Höhe der Bruchbelastung gefunden; ebensowenig zwischen

rechts und links; auch nach dem Alter waren die Unterschiede in der Bruchbelastungshöhe nicht bedeutend.

Bedeutend allerdings war die Differenz der Bruchbelastung zwischen dem I. phalangeal. Gelenke der 1. Zehe und dem der übrigen:

Die erste Zehe erwies sich immer als die stärkste, die fünfte als die schwächste; doch war der Unterschied zwischen den einzelnen Zehen von 2. bis 5. nicht so bedeutend, wie der zwischen 1. und 2.

Knochenbrüche wurden öfters beobachtet an den Phalangen: und zwar entweder dicht über dem basalen (proximalen) Gelenkende oder am distalen Ende derselben in Form von Abscheerung durch die Einspannung. Der Knochenbruch verlief meist quer, nur einmal schief (fast längs vom proximalen Ende bis zum distalen durch die ganze Phalanx).

Bei der ersten Zehe war Knochenbruch besonders häufig: unter 11 Fällen 8 mal im Mittel bei 42 Kgr (unter diesen 8 Fällen 5 mal genau bei 41 Kgr; einmal wurde hievon die I. Phalanx über der Basis quer abgerissen bei einer 30 jähr. Magd).

Bei den übrigen Zehen wurde unter 24 Versuchen 4 mal Knochenbruch beobachtet im Mittel bei 26 Kgr.

Die Häufigkeit des Knochenbruches bei der ersten Zehe erklärt sich aus der im Vergleich zur Knochenfestigkeit hohen Tragfähigkeit der Kapsel; diese ist, wie aus dem Folgenden hervorgeht, hier oft sogar fester als der Knochen selbst.

Der Kapselriss erfolgte meist dorsal und zwar wurde die Kapsel gewöhnlich in einzelnen Strähnen vom proximalen Gelenkknochen (also vom Kopf des Metatarsus beim I. phalang. Gelenke) abgezogen:

Bei 35 Versuchen wurde 16 mal vom proximalen Gelenkkopf die Kapsel dorsal abgelöst, 3 mal volar; 4 mal nur riss sie vom distalen Gelenkknochen ab (ebenfalls dorsal zuerst).

Bei diesen 35 Versuchen an den Gelenken aller Zehen wurde 23 mal Kapselriss erreicht, in den übrigen 12 Fällen, wie bereits oben bemerkt, Knochenbruch.

Die mehrmals bis zu 150° beobachtete Valgusstellung der grossen Zehe hatte wohl auf die Art des Kapselrisses (zuerst medial am Metatarsus), nicht aber auf die Bruchbelastung Einfluss.

Die Bruchbelastung für die 2.—5. Zehe schwankte zwischen 10 und 52 Kgr (letztere wurde erhalten beim I. phalangeal. Gelenk der 2. rechten Zehe eines 21jähr. Taglöhners; erstere bei demselben Gelenk einer 30jähr. Magd). Sie berechnete sich im Mittel auf 30 Kgr. Die oben erwähnten Knochenbrüche dagegen erfolgten im Mittel bei 26 Kgr.

Für die 1. Zehe schwankte sie zwischen 42 und 81 Kgr (im ersteren Falle bei einem 80jähr. Manne, im letzteren bei dem 21jähr. Taglöhner). Im Mittel berechnet sie sich auf 62 Kgr*). Die oben erwähnten 8 Knochenbrüche dagegen lagen im Mittel bei 42 Kgr*); dieselben wurden keineswegs nur bei alten Individuen beobachtet, sondern meist bei Weibern und Männern unter 40 Jahren; nur einmal bei einem 75jähr. Manne bei 41 Kgr Bruchbelastung.

Die Dehnungen der Kapsel

wurden bilateral an Reissnägelmarken gemessen, welche in die Knochen ober- und unterhalb des Gelenkes eingeschlagen waren.

Dieselben waren während der Anfangsbelastung von 1 bis 5 Kgr, durch welche das Gelenk ausgezogen und die ziemlich lose um die Knochen befestigte Kapsel gestreckt wurde, grösser; sie nahmen alsdann bei höherer Belastung stetig zu um Bruchteile von Millimetern wie bei andern Gelenken.

Zughebelversuche an den Zehen in dorsaler Richtung.

Es wurden die Gelenke erster (basal.) Ordnung in der Weise geprüft, dass der Metatarsus in die Klemmbacken der um 45° abwärts gestellten Console Fig. 3b mit seiner dorsalen Fläche nach oben eingeschraubt wurde. Das Köpfchen der ersten Phalanx wurde alsdann vermittelst des vertikal aufwärts wirkenden Flaschenzuges nach oben gewendet und gezogen.

Die volare Kapselwand wurde hiedurch hauptsächlich beansprucht; die zu ihrem Bruch nötige Kraft konnte an einem zwischen die gezogene Phalanx und Flaschenzug eingeschalteten Federdynamometer sofort abgelesen werden.

*) Zahlenbeweis dafür, dass am I. Gelenk der 1. Zehe die Kapsel fester, als der Knochen ist.

Bei dieser dorsalen Hebelung bildete die erste Phalanx selbst den Hebel für das beanspruchte erste Zehengelenk und war derselbe zu messen vom Angriffspunkte des Flaschenzuges am Köpfchen der Phalanx bis zum basalen Rande derselben, an dem dorsalwärts der Kopf des Metatarsus bei der Hebelung den Stützpunkt, das Hypomochlion fand. Diese Länge wurde auf eine Einheitsgrösse = 3 cm für alle Fälle reducirt.

Zu bemerken ist allerdings, dass hier, wie bei allen Gelenken mit loser Gelenkkapsel, am Zughebel der Stützpunkt der Knochenränder bald verloren geht, weil die gehebelte Phalanx sich mit einigen Kgr (1—5) schon dorsal senkrecht zum Metatarsus stellt und nunmehr der nur vertical wirkende Flaschenzug an einem allmälich kleiner gewordenen Hebel angreift, vielmehr zieht. Die Hebelung verwandelt sich also sehr bald in einen dorsalen Zug und ist mehr als solcher aufzufassen mit vornehmlicher Beanspruchung der volaren Kapselwand.

Daher stehen auch die Bruchbelastungen in der Mitte zwischen jenen des reinen Achsenzuges und den später zu betrachtenden reinen Kreishebelversuchen. Letztere haben bei allen Gelenken mit loser Kapsel, wie bereits beim Schultergelenk gezeigt wurde, den Vorzug, während die Zughebelversuche sich bei strafferen Gelenken (Knie, Ellenbogen) wohl verwerten lassen.

Weil in der Praxis eine Beanspruchung der Zehengelenke in der Richtung des dorsalen Hebelzuges vorkommen kann, mögen die Resultate der Versuche in Kürze hier folgen:

Das zweite Gelenk wurde etwas schwächer als das erste befunden. Die mittlere Bruchbelastung für das erste Gelenk an Hebel = 3 cm lag bei 9 Kgr.

Der Kapselriss erfolgte am ersten Gelenk unter 12 Versuchen 10 mal immer plantar längs am Metatarsus, 2 mal erfolgte Querbruch der ersten Phalanx dicht über dem Gelenke.

Kreishebelversuche an den Zehen in dorsaler Richtung.

Als Apparat zur Ausführung dieser Versuche diente der beschriebene Kreishebel Fig. 3a.

Der proximale Gelenkknochen (Metatarsus für das I., Phalanx I

für das II. Gelenk) wurde in die Klemmbacken mit seiner dorsalen Fläche nach oben eingespannt, durch den Mitnehmerstift D der distale Gelenkknochen dorsalwärts umgelegt, so dass also einzig allein die volare Kapselwand auf ihre Bruchfestigkeit bei reiner Hebelung beansprucht wurde. Als Hebel hiefür galt die Länge der Phalanx vom Mitnehmerstift bis zum Gelenk oder, weil dieses mit der Planscheibe genau centrirt war, der zum Mitnehmerstift gehörige Radius r der Planscheibe. Für alle Fälle wurde die Hebellänge auf 3 cm als Einheit reducirt.

Alle Gelenke wurden rasch mit geringer Belastung dorsal gewendet; in zwei Fällen (34 jähr. Oekonom, 50 jähr. Taglöhner) wurden die I. Phalangen der 2. Zehen sogar vollkommen dorsal umgelegt, ohne dass Bruch der Kapsel erfolgte, mit 3 und 4 Kgr an Hebel 3 cm.

In der Art des Kapselrisses und der Bruchbelastung war ein bedeutender Unterschied zwischen dem basal. Gelenk der ersten Zehe gegenüber dem der übrigen:

An der ersten Zehe wurde die Kapsel quer am Metatarsus (am innern oder äussern Rande beginnend) abgerissen: 10 mal unter 12 Fällen; zweimal wurde die Phalanx ohne Bruch mit 30 und 27 Kgr an Hebel 3 cm vollkommen umgelegt (34 jähr. Oekonom, 50 jähr. Taglöhner).

Die mittlere Bruchbelastung für das I. Gelenk der 1. Zehe berechnet sich auf 19 Kgr, für Hebel 3 cm.

An der 2. bis 4. Zehe erfolgte der Kapselriss immer als plantarer Längsriss am Metatarsus.

Die mittlere Kapselfestigkeit berechnet sich hier nur auf 5 Kgr, am Hebel 3 cm.

Zugversuche an den Fingergelenken.

Die Einspannung war die gleiche wie bei den Zehengelenken.

Auch die Ausstreckung durch 1—5 Kgr Anfangsbelastung trat hier bei den metacarpo-phalangealen Gelenken wie dort ein; hiebei wurde ebenfalls die volare Verschiebung des metacarpalen Gelenkkopfes beobachtet.

Bei den Fingern wurde aber zum Unterschied von den Zehen stets ein deutlicher Unterschied in der Bruchbelastung zwischen

I. und II. phalangealem Gelenke zu Gunsten des I. gefunden: Daher sind hier diese Gelenke getrennt zu betrachten; z. B. im Mittel:

	Bruchbelastung		Bruchbelastung
Daumen	I. Gelenk 65—100 Kgr	2.—4. Finger	I. Gelenk 75—82 Kgr
„	II. „ 21— 81 „	2.—4. „	II. „ 59—62 „

Ausserdem wurde, wie dort die grosse Zehe, so hier der Daumen als besonders fest in der Anordnung seiner beiden Gelenke befunden.

Auch bei den übrigen Fingern zeigte sich eine allmäliche Abnahme der Tragfähigkeit der Gelenke nach dem ulnaren Rande der Extremität hin:

Für den Daumen (I. Gelenk) bewegte sich bei 14 Versuchen die Tragfähigkeit der Kapsel zwischen 65 und 100 Kgr.
Für den 2. bis 4. Finger (incl.) (I. Gelenk) bei 18 Versuchen zwischen 75 und 82 Kgr
„ „ 2. „ 4. „ (incl.) (II. Gelenk) bei 11 Versuchen zwischen 59 und 62 Kgr.

Es wurde z. B. als Bruchbelastung gefunden:
Bei einem 54jähr. Taglöhner für
das I. Gelenk des rechten 2. Fingers 81 Kgr (Kapselriss dorsal)
„ I. „ „ „ 4. „ 61 „ (Kapselriss dorsal).
Bei einem 30jähr. Taglöhner für
das I. Gelenk des rechten 2. Fingers 101 Kgr (Kapselriss volar)
„ I. „ „ „ 4. „ 70 „ (Kapselriss dorsal).

Ausserdem sei noch erwähnt, dass ein Unterschied in der Bruchbelastung und im Kapselriss zwischen rechts und links nicht gefunden wurde.

Auch das Alter hatte keinen erheblichen Einfluss, wohl aber das Geschlecht:
es war dies schon wegen des beim Weibe zierlicheren Baues der Hand und der beim Manne (speziell aus der Arbeiterklasse) bedeutenderen Entwickelung der obern Extremität zu erwarten;
es schwankte bei 9 weibl. Fingern (2.—4. Finger I. Gelenk) die Bruchbelastung zwischen 31 und 68 Kgr;
bei 12 männl. Fingern (2.—4. Finger I. Gelenk) zwischen 76 und 82 Kgr.

Art des Bruches und mittlere Bruchbelastung:

a) Bei den Fingern (2.—4. Finger).

Am **I. Gelenk** riss unter 18 Fällen 11 mal die Kapsel ab; und zwar 7 mal am Metacarpus,
4 mal an der I. Phalanx; dorsal oder volar gleich oft.

In den übrigen 7 Fällen riss der Knochen der I. Phalange (und zwar 5 mal quer, 1 mal längs, 1 mal abgescheert) eher als die Kapsel.

Die Bruchbelastung für die Kapsel berechnet sich im Mittel auf 79 Kgr
für den Knochen (I. Phalanx) 82 Kgr.

Kapsel- und Knochenfestigkeit liegen also nahe beisammen.

Am **II. Gelenk** riss unter 11 Versuchen nur 3 mal die Kapsel und zwar wurde sie immer vom distalen Gelenkknochen (II. Phalanx) abgezogen.

Die andern 8 Fälle waren Knochenbrüche (72% gegen 39% des I. Gelenkes); hiebei riss 5 mal die II. Phalanx über der Basis quer ab, 3 mal wurde ihr Köpfchen abgescheert.

Die mittlere Kapsel- und Knochenbruchbelastung lagen hier ebenfalls nahe beisammen; für beide berechnet sie sich auf 61 Kgr im Mittel.

b) Beim Daumen, I. Gelenk

waren die Knochenbrüche häufiger zu verzeichnen: 12 unter 14 Versuchen (86%). Meist wurde die Phalanx I quer über ihrer Basis abgerissen. Die Kapsel kam immer am Metacarpus zum Reissen.

Die mittlere Bruchbelastung für Knochen und Kapsel berechnet sich auf 85 Kgr.

Die Dehnungen zeigten dieselben Erscheinungen wie bei den Zehen.

Zughebelversuche an den Fingergelenken.

Die Anordnung war die gleiche wie bei den Zehen (Fig. 3b). Auch die dorsale Wendung der Phalanx durch den Zug war hier fast so stark wie dort.

Der Kapselriss erfolgte immer volar am Metacarpus in Form eines Längsschlitzes mit Periostablösung vom Metacarpus, so dass der Gelenkkopf hervorgedrängt wurde.

Unter 9 Fällen wurde zweimal bei weiblichen Individuen querer Knochenbruch und zwar dicht am Gelenk im Metacarpus dann in der Phalange beobachtet. (Einmal am l. Daumen bei einer 30jähr. Frau mit 2 Kgr für Hebel 3 cm Bruch des Metacarpus; dann am l. zweiten Finger mit 21 Kgr für Hebel 3 cm Bruch der Phalanx.)

Die mittlere Bruchbelastung der Kapsel berechnet sich auf 17 Kgr für Hebel 3 cm; das wäre für eine Hebellänge von 1 cm 51 Kgr. Vergleicht man damit die mittlere Bruchbelastung für Achsenzug = 79 Kgr, so bestätigt sich wieder die Anschauung, dass bei fibrösen Bändern die Zugrichtung für die Bruchbelastung nicht sehr wesentlich ist.

Kreishebelversuche an den Fingergelenken.

Anordnung (Fig. 3 a) und Verhältnisse wie bei den Zehen.

Es wurden 12 Versuche am I., 14 am II. Gelenk gemacht.

Beim I. Gelenk erfolgte 10 mal Kapselriss längs am Metacarpus volar wie bei den Zughebelversuchen, 2 mal brach die I. Phalanx quer über dem Gelenke ab.

Beim II. Gelenk erfolgte immer Kapselriss quer volar dicht an der Basis der II. Phalanx.

Schon mit einigen Kgr. wurde die gehebelte Phalanx stark dorsalwärts umgelegt.

Das I. Gelenk wurde immer stärker befunden als das II.

Die mittlere Bruchbelastung für das II. Gelenk berechnet sich auf 7 Kgr, für das I. Gelenk auf 10 Kgr an einer Hebellänge = 3 cm.

Das erste Gelenk des Daumens wurde etwas stärker befunden (11—12 Kgr Bruchbelastung).

Elasticität und Festigkeit des fibrösen Gewebes der Bänder.

Versuche hierüber sind nur wenig gemacht. G. Hermann Meyer schreibt in seinem classischen Werke „Ueber Statik und Mechanik der Knochen und Gelenke“ (Leipzig, 1873) Folgendes: „Das fibröse Gewebe, welches in Gestalt der Gelenkbänder an dem Aufbau des Knochengerüstes Teil nimmt, ist ausgezeichnet durch seine Zähigkeit, d. h. durch die Verbindung von geschmeidiger Biegsamkeit mit beträchtlicher absoluter Festigkeit. Da seine Dehnbarkeit nur eine geringe ist, ist seine Verwendung in den Bändern und Symphysenscheiben besonders geeignet für Fixirung zweier Knochenstücke aneinander durch Gegenspannung. — Wegen dieser geringen Dehnbarkeit kann sich die entsprechende absolute Elasticität nur in geringem Grade geltend machen. Ueber die absolute Festigkeit des fibrösen Gewebes besitzt man einige Angaben von Valentin.“

Erwähnte Angaben finden sich in: Valentin, Lehrbuch der Physiologie (Braunschweig 1844. Bd. I. Nr. 34. Seite 110). Valentin teilt hier Festigkeitsversuche mit, die er an verschiedenen Geweben: Nerven, Venen, Arterien gemacht hat. Auch Sehnen von Muskeln suchte er zu zerreissen, bekennt aber, dass er zu keinem Resultat gekommen ist, weil dieselben immer eher aus der Einspannvorrichtung glitten (er flocht das aufgefaserte Sehnenende in ein Drahtgewebe ein), ehe die Sehne selbst riss.

Fibröses Gewebe von Gelenken untersuchte er überhaupt nicht.

Nach ihm experimentirte mit denselben Gewebearten Wertheim; er teilt in „Annal. d. chemie et physique, December 1847, troisiéme serie, tome 21, pg. 385 et s.“ Versuche über die Elasticität und Festigkeit mit: von Knochen, Nerven, Arterien, auch von einigen Sehnen.

Charpy macht in „Revue de chirurgie, cinquième anèe 1885, tom. 5 a et b, pg. 466 et s.“ allgemeine Mitteilungen über die Elasticität und Festigkeit verschiedener Gewebe, namentlich der Knochen; er greift vorzüglich auf die Zahlen der früheren Experimentatoren Messerer und Rauber (in Bezug auf die Knochen), besonders aber Wertheim zurück:

Er gibt folgende Elasticitätstabelle:

Elastische Verlängerungen	Die Sehne ist daher
(Dehnungen) für eine bestimmte	10 mal mehr dehnb. als Knochen
gleich grosse Belastung	7 „ „ „ „ Holz
bei Knochen 0,0005 mm	70 „ „ „ „ Glas
„ Sehne 0,007 mm	100 „ „ „ „ Stahl
„ Knochenknorpel 0,25 mm	30 „ weniger „ „ Knorpel
„ Muskel 2,50 mm	300 „ „ „ „ Muskel
„ Arterien 19,0 mm	2000 „ „ „ „ Arterie
„ Holz 0,001 mm	
„ Glas 0,0001 mm	
„ Stahl 0,00005 mm.	

Nach den Versuchen Wertheims an der Fascia plantaris liegt die Widerstandsfähigkeit einer Sehne gegen Zug zwischen 5 und 10 Kgr für 1 □mm. Charpy nimmt als mittlere Zahl für eine Sehne bei Erwachsenen 7 Kgr an und glaubt, dass die Gelenkbänder ein wenig geringeren Widerstand haben dürften.

Charpy gibt in der citirten Abhandlung auch eine vergleichende Zugfestigkeitstabelle für einen Quadratmillimeter Querschnitt berechnet bei:

Compaktem Knochen .	10 Kgr	Muskel	0,07 Kgr
Hyalinem Knorpel . .	0,6 (?) „	Holz	8 „
Sehne	5 „	Eisen	50 „
Nerv	1,45 „	Darmsaite . . .	6—9 „
Arterie	0,15 „	Glas	2,5 „

Dies sind so ziemlich alle Angaben über die Festigkeit des fibrösen Gewebes, im Besonderen der Sehnen; über die Gelenke und ihre Bänder selbst liegt nichts vor; dazu kommt noch, dass weder bei Valentin, Wertheim, noch Charpy etwas genaues über die Anordnung der Versuche zu finden ist.

Es ist klar, dass bei der Prüfung des fibrösen Gewebes auf seine Festigkeit eigentlich nur seine Widerstandsfähigkeit gegen Zug in Frage kommt; denn mag man ein faseriges Gewebe, wie es das Gelenkband ist, auf irgend eine Weise zu trennen versuchen, durch Auseinanderziehen in der Richtung der Längsfasern, oder schief zu diesen durch Abbiegen über eine Rolle (Gelenkkopfwölbung), oder durch Drehung um die Längsachse — es wird immer darauf hinauskommen, dass die geschmeidig biegsamen Fasern des Gewebes mehr oder minder quer zu ihrem Längsverlauf zerrissen werden. Dazu kommt noch, dass die Gelenkbänder im Leben einzig allein auf Zug beansprucht werden; denn mag ein Gelenk der Länge nach auseinander gezogen, seitlich abgebogen oder verdreht werden, so werden entweder sämmtliche Bänder desselben oder die der beanspruchten Gelenkseite gezogen, die anderen falten sich durch Stauchung einfach zusammen ohne sich weiter zu verändern.

Daher kommt es auch, dass der Unterschied zwischen den Gelenkzug- und Hebelversuchen kein so wesentlicher ist. Eine Prüfung der ganzen Kapselwand auf Zug in der centralen Längsachse senkrecht auf die Gelenkfläche gibt ein vollkommenes Bild ihrer Festigkeit.

Zur Prüfung einzelner Bandteile dienten das innere und äussere accessorische Band des Kniegelenkes und Stücke aus der hintern Kapselwand des gleichen Gelenkes. Teile von anderen Gelenken waren meist zu klein, um eingespannt und geprüft werden zu können.

Eingespannt wurde in der Fig. 1 und 2 abgebildeten Zerreismaschine, die auch zum Abreissen der ganzen Gelenke gebraucht wurde.

Die Bandenden wurden zwischen Klemmschrauben (Feilkloben) mit Holzbeilagen und Schmirgelpapier gefasst. Die Holzbeilagen waren auf der dem Band zugekehrten Fläche in verschiedener Richtung kreuzweise gerieft. Ausserdem wurde auch die Vorsicht gebraucht, das Band an beiden Enden möglichst breit aus dem Körper mit einem Stückchen Knochen auszuschneiden beziehungsweise auszumeiseln. Diese verbreiterten Enden wurden hierauf noch der Quere nach einmal umgeschlagen, in Schmirgelpapier ein-

gewickelt und alsdann zwischen die gezahnten Holzbacken eingelegt, um auf diese Weise das Ausgleiten möglichst zu umgehen.

Gemessen wurden die Dehnungen an kleinsten Reissnägeln, welche übereinander in das Band eingesteckt wurden.

Die Bruchfestigkeit des fibrösen Bandgewebes wurde annähernd zu 6 bis 7 Kgr pro 1 □ mm gefunden.

Ganz genau konnte sie deshalb nicht bestimmt werden, weil unter dieser Belastungsgrösse sehr oft das Band dicht an der Einspannung, in Strähne gespalten, zerriss — also nicht in der Mitte zum Bruche kam, dieser also durch die Einspannung beeinflusst worden war; im andern Falle wurde immer das Band an seinem Ansatzpunkte von dem Knochen abgelöst, z. B.:

27jähr. Mann, Anstreicher, schlanker Körperbau; Todesursache: Phthisis.

Linkes äusseres Kniegelenksband, 10 Stunden nach dem Tode ausgeschnitten und geprüft. (Während des Transportes wurden die Bänder durch 0,6 % Kochsalzlösung vor dem Austrocknen geschützt).

Der platte, rundliche Strang mass
5 mm in der Breite
1,8 mm in der Dicke
hatte also 9 □ mm Querschnitt.

Das Band wurde durch die stetig etwa von 3 zu 3 Minuten vermehrte Belastung wohl in der Mitte stark verdünnt, löste sich aber mit 58,5 Kgr im Ansatzpunkte am condyl. extern. femor. ab. Die Belastung des Bandes betrug hiebei auf 1 □ mm etwa 6,5 Kgr; das Band aber hielt diese Belastung gut aus ohne sich irgendwie merklich zu verändern.

Eine solche Bruchform, Abreissen der Bänder von den Knochenansätzen, fand ich auch öfters bei den Gelenken (Hüfte, Knie, Fuss, Ellenbogen. — Der nach Verstauchungen gerade auf bestimmte Punkte an den Condylen (namentlich seitlich am Knie) localisirte Schmerz wird auf solcher partiellen Lostrennung beruhen.

Den Verlauf der Dehnungen mögen folgende Beispiele zeigen:

Vers.-Nr. 1.

Arbeiter, 30 Jahre alt, 158 cm lang, 57 Kgr schwer.
Tod durch Sturz mit innerer Verblutung.

Linkes accessorisches, fibulares Kniegelenkband. Geprüft 15 Stunden nach dem Tode; das Band wurde, nachdem es aus der Leiche geschnitten war, bis zum Versuche in physiol. Kochsalzlösung aufbewahrt.

Belastung Kgr	Dehnung auf 2 cm Länge gemessen mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf 1,5 Kgr
1,5 bis 11,5 (Gewicht der untern Klammer)	0,15	0,22	
21,5	0,37	0,28	
31,5	0,65	0,27	
41,5	0,92		
			nach 40 Kgr 0,68 mm

Die elastische Dehnung = Gesammtdehnung vermindert um die bleibende betrug für 40 Kgr Belastung = 0,92 — 0,68 = 0,24 mm.

Daraus geht hervor, dass das fibröse Gelenkband doch dehnbar ist: durch 40 Kgr fast um 1 mm; ferner dass es elastisch ist; allerdings nicht vollkommen elastisch, da es ziemlich rasch und stark bleibend gedehnt wird.*) Aus der Tabelle ist auch die Stetigkeit des Dehnungszuwachses ersichtlich; dieselbe unterliegt jedoch kleinen Schwankungen, ähnlich denen bei Seilen, Riemen, wie schon Eingangs erwähnt wurde. Der Verlauf der Dehnungen, der Eintritt der bleibenden Dehnung, die alsdann noch vorhandene Retractionsfähigkeit des fibrösen Bandes bei der Entlastung (die elastische Dehnung) zeigt Uebereinstimmung mit den bei ganzen Gelenken früher beobachteten Erscheinungen: Das Gelenk sowohl wie das fibröse Band sind bis zu einem gewissen Grade dehnbar, ohne dass sie bleibend verändert werden, sind also, wenn auch in engen Grenzen, vollkommen elastisch; über diese Grenze hinaus können sie noch sehr weit gedehnt werden, bis sie reissen; auch nach ziemlich hoher Belastung bleiben beide noch elastisch; die elastische Dehnung beträgt oft den vierten, auch dritten Teil, ja hie und da sogar die Hälfte der Gesammtdehnung.

*) Vgl. Seite 156. Herm. Meyer glaubte allerdings, dass das fibröse Gewebe nur sehr geringer Dehnung fähig sei.

Vers.-Nr. 2.

Mädchen, 4½ Jahre alt, 97 cm lang, 13 Kgr schwer.

Todesursache: Pneumonie.

L. Aeusseres accessorisches Kniegelenkband.

Geprüft 20 Stunden nach dem Tode.

Belastung Kgr	Dehnung an 2 cm Länge gemessen mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf 1,5 Kgr
1,5 bis 11,5	0,25		
			nach 10 Kgr 0,05 mm
		0,31	
21,5	0,56		
			nach 20 Kgr 0,25 mm
		0,72	
31,5	1,28		
			nach 30 Kgr 0,39 mm

Elastische Dehnung = 1,28—0,39 = 0,89 mm nach 30 Kgr.

Vers.-Nr. 3.

Das gleiche Band vom R. Knie desselben Individuums.

Belastung Kgr	Dehnung an 2 cm Länge gemessen mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf 1,5 Kgr
1,5 bis 6,5	0,19		
			nach 6 Kgr 0,09 mm
		0,31	
11,5	0,5		
			nach 10 Kgr 0,24 mm
		0,2	
21,5	0,7		
			nach 20 Kgr 0,35 mm

Elastische Dehnung = 0,35 mm nach 20 Kgr.

Vers.-Nr. 4.

Stationsdiener, 57 Jahre alt, 175 cm lang, 56 Kgr schwer.

Todesursache: Apoplex. cerebri.

Aeusseres accessorisches Band des R. Kniegelenkes.

12 Stunden nach dem Tode geprüft.

Belastung Kgr	Dehnung an 2 cm Länge gemessen mm	Dehnungszuwachs (Differenz) mm	Bleibende Dehnung in mm bei Entlastung auf 1,5 Kgr
1,5 bis 16,5	0,61		
			nach 15 Kgr 0,29 mm
		0,21	
21,5	0,82		
			nach 20 Kgr 0,43 mm

Elastische Dehnung = 0,82—0,43 = 0,39 mm nach 20 Kgr.

Stellt man diese Beispiele zusammen, so erhält man nach 20 Kgr Belastung bei einem seitlichen Kniegelenksband von normaler Länge:

für Vers.-Nr.	Gesammtdehnung mm	bleibende Dehnung mm
1)	0,4	0,3
2)	0,5	0,3
3)	0,8	0,4
4)	0,8	0,4
im Mittel	0,6	0,3

Obwohl also das fibröse Gelenkband durch eine Belastung von 20 Kgr eine Verlängerung im Mittel um 0,6 mm erfährt, so bleiben nach der Entlastung hievon nur 0,3 mm bleibend zurück, die andere Hälfte dieser Verlängerung gleicht sich (als elastische Dehnung) wieder aus; ein Beweis, dass das fibröse Gelenkband (nach 20 Kgr Belastung) noch ziemlich elastisch, wenn auch nicht mehr vollkommen elastisch ist.

Den Schluss möge

I. **Eine Zusammenstellung der mittleren Bruchbelastung der einzelnen Gelenke von Erwachsenen,**

II. **Ein Vergleich der Bruchbelastungen verschiedener Gelenke bei ein und demselben Individuum**

bilden:

I. Die mittleren Bruchbelastungen

(sowie die höchste und niederste) der einzelnen Gelenke sind entnommen einer Anzahl von mindestens 12 (meist mehr als 24) Ver-

suchen über die Zugfestigkeit der Gelenke bei Erwachsenen verschiedener Altersklas en (vom 20. bis 70. Jahre) beiderlei Geschlechts, aus der Arbeiterklasse (vergleiche die früheren Versuche bei den einzelnen Gelenken).

	Mittlere Bruch-belastung	Schwankung von
Hüftgelenk	380 Kgr	200 bis 650 Kgr
Kniegelenk	315 Kgr	240 bis 450 Kgr
Fussgelenk	248 Kgr	100 bis 320 Kgr
2. bis 5. Zehe, I. Gelenk	30 Kgr	11 bis 51 Kgr
1. Zehe, I. Gelenk	62 Kgr	42 bis 81 Kgr
Schultergelenk	146 Kgr (bezw. 128)	80 bis 200 Kgr
Ellenbogengelenk (Radius + Ulna).	169 Kgr	130 bis 200 Kgr
Handgelenk (Radius + Ulna).	184 Kgr	130 bis 250 Kgr
2.—4. Finger, I. Gelenk	79 Kgr	75 bis 82 Kgr oft Knochenbruch
1. Finger, I. Gelenk	83 Kgr	65 bis 100 Kgr sehr häufig Knochenbruch
Articulatio sterno-clavicularis	109 Kgr	36 bis 161 Kgr
Articulatio acromio-clavicularis	87 Kgr	56 bis 131 Kgr
Ferner:		
Becken, vordere Symphyse	173 Kgr	150 bis 280 Kgr
Becken: Symphysis sacro-iliaca	213 Kgr	160 bis 310 Kgr
Wirbelsäule: Halsteil	113 Kgr	
Brustteil	210 Kgr	
Lendenteil	400 Kgr	
Verbindung zwischen 5. Lendenwirbel und Kreuzbein	262 Kgr	
Ligamenta interossea cruris (quer)	40 Kgr	
„ „ antebrach. (quer)	91 Kgr	
Ligamenta interossea antebrach. (längs)	65 Kgr (70) Kgr	

II. Zusammenstellung der Bruchbelastung für Achsenzug verschiedener Gelenke bei einzelnen Individuen.

Vers.-Nr. 1.

Oekonom, 34 Jahre alt, 145 cm lang, 42 Kgr schwer. Todesursache: Vitium cordis.

R. Hüfte, Zug	mit 400 Kgr Kapselriss.
L. Hüfte, Zug	mit 435 Kgr Kapselriss.
R. Knie, Zug	mit 300 Kgr Kapselriss.
(L. Knie, Hebel [9 cm]	mit 79 Kgr.)
R. Fuss, Zug	mit 230 Kgr Kapselriss.
(L. Fuss, Hebel [5 cm]	nach aussen mit 75 Kgr.) nach innen mit 95 Kgr.)
R. 1. Zehe, I. Gelenk	mit 51 Kgr Knochenbruch an der Phalange.
R. 2. Zehe, I. Gelenk	mit 31 Kgr Kapselriss.
R. Schulter	mit 60 bis 110 Kgr Kapselriss.
R. Acromial	mit 91 Kgr Knochenbruch am Acromion.
L. Acromial	mit 71 Kgr Knochenbruch am Acromion.
R. Ellenbogen (Radius + Ulna)	mit 170 Kgr Knochenbruch an der Ulna unten in der Einspannung.
L. Ellenbogen	mit 150 Kgr Kapselriss.
L. Zwischenknochenband des Unterarmes	quer mit 51 Kgr durchgerissen.
R. 1. Finger, I. Gelenk	mit 71 Kgr Knochenbruch der Phalange.
R. 2. Finger, I. Gelenk	mit 65 Kgr Knochenbruch der Phalange.
Unterkiefer R.	mit 66 Kgr Kapselriss.
Unterkiefer L.	mit 55 Kgr Kapselriss.
Wirbel: 6. u. 7. Halsw.	mit 150 Kgr.
2. u. 3. „	mit 150 Kgr.
4. u. 5. Brustw.	mit 150 Kgr.
9. u. 10. „	mit 200 Kgr.

Becken: Vordere Symphyse mit 150 Kgr.
Hintere „ L. mit 180 Kgr.
R. mit 160 Kgr.

Vers.-Nr. 2.

Hausirer, 39 Jahre alt, 157 cm lang, 56,5 Kgr schwer. Todesursache: Vit. cordis.

L. Hüfte	mit 350 Kgr Kapselriss.
L. Knie	mit 340 Kgr Kapselriss.
L. Fuss	mit 250 Kgr Kapselriss mit Bruch des inner. Malleol.
R. Hüfte	mit 310 Kgr Kapselriss.
R. Knie	mit 340 Kgr Kapselriss.
R. Fuss	mit 310 Kgr Kapselriss mit Bruch des inner. Malleol.
L. 1. Zehe, I. Gelenk	mit 41,5 Kgr Phalanx-Bruch.
L. 3. Zehe, I. Gelenk	mit 28 Kgr Kapselriss.
Ligament. inteross. crur.	längs mit 61 Kgr.

Vers.-Nr. 3.

Arbeiter in einer Schweizerei, 29 Jahre alt, 171 cm lang, 53 Kgr schwer. Todesursache: Tubercul. pulm.

L. Acromial	mit 101,5 Kgr Kapselriss.
L. Schulter	mit 130—150 Kgr Kapselriss.
L. Ellenbogen (Radius + Ulna)	mit 200 Kgr Kapselriss.
L. Hand (Radius + Ulna)	mit 200 Kgr Kapselriss.
L. 1. Finger, I. Gelenk	mit 76,5 Kgr Knochenbruch der Phalange.
L. 3. Finger, I. Gelenk	mit 111,5 Kgr Knochenbruch der Phalange.
L. 4. Finger, I. Gelenk	mit 101,5 Kgr Kapselriss.
R. Acromial	mit 121,5 Kgr Kapselriss.
R. Schulter	mit 150—160 Kgr Kapselriss.
R. Ellenbogen (Radius + Ulna)	mit 240 Kgr Kapselriss.
R. Hand (Radius + Ulna in halber Höhe abgeschnitten und im Laschengehänge gemeinsam beansprucht)	mit 90 Kgr Ulna ausgezogen,
alsdann Radius allein	mit 200 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 4.

Filia publica, 21 Jahre alt, 156 cm lang, 37 Kgr schwer. Todesursache: Tuberculos. pulmon.

L. Hüfte	mit 500 Kgr Beckenbruch.
R. Hüfte	mit 650 Kgr Kapselriss.
L. Knie	mit 450 Kgr Kapselriss.
R. Knie	mit 350 Kgr Kapselriss.
L. Acromial	mit 60 Kgr Kapselriss.
L. Schulter	mit 135—150 Kgr Kapselriss.
L. Ellenbogen	mit 150 Kgr Kapselriss.
R. Schulter	mit 130—175 Kgr Kapselriss.
R. Ellenbogen (Radius + Ulna im obern Drittel an einem Laschengehänge beansprucht)	mit 91,5 Kgr Radius ausgezogen,
alsdann Ulna allein	mit 111,5 Kgr Kapselriss.
R. Hand	mit 120 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 5.

Malergehilfe, 41 Jahre alt, 52 Kgr schwer, 155 cm lang. Todesursache: Nephritis.

L. Hüfte	mit 380 Kgr Kapselriss.
L. Knie	mit 350 Kgr Kapselriss.
R. Ellenbogen (Ulna + Radius im obern Drittel durch Laschengehänge beansprucht) davon Radius	mit 96,5 Kgr ausgezogen,
alsdann Ulna allein	mit 101,5 Kgr Kapselriss.
L. Ellenbogen (Ulna + Radius wie R. beansprucht), davon Radius	mit 91,5 Kgr ausgezogen,
alsdann Ulna allein	mit 106,5 Kgr Kapselriss.
Becken: Vordere Symphyse	mit 200 Kgr Beckenbruch.

Vers.-Nr. 6.

Schuhmachersfrau, 32 Jahre alt, 150 cm lang, 40,5 Kgr schwer. Todesursache: Meningit. tuberculos.

R. Hüfte	mit 600 Kgr Kapselriss.
R. 1. Zehe, I. Gelenk	mit 60 Kgr Kapselriss.
R. 2. Zehe, I. Gelenk	mit 40 Kgr Kapselriss.
Becken: Vordere Symphyse	mit 200 Kgr.
hintere Symphyse	mit 170 Kgr.

R. Hand (Ulna + Radius) mit 160 Kgr Kapselriss.
R. 2. Finger, I. Gelenk mit 97 Kgr Kapselriss.
Wirbel: 4. u. 5. Halsw. mit 70 Kgr.
5. u. 6. „ mit 120 Kgr.
6. u. 7. „ mit 150 Kgr.
1. u. 2. Brustw. mit 170 Kgr.
9. u. 10. „ mit 250 Kgr.
3. u. 4. Lendenw. mit 410 Kgr.

Vers.-Nr. 7.

Hausirerin, 56 Jahre alt, 154 cm lang, 34,5 Kgr schwer. Todesursache: Pneumonie.

R. Schulter mit 100—150 Kgr Kapselriss.
R. Acromion mit 80 Kgr Knochenbruch (Acromion).
L. Ellenbogen (Radius + Ulna im obern Drittel am Laschengehänge beansprucht), davon Radius mit 45 Kgr ausgezogen,
alsdann Ulna allein mit 90 Kgr Kapselriss.
L. Fuss mit 150—180 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 8.

Schlosser, 41 Jahre alt, 173 cm lang, 71 Kgr schwer. Todesursache: Vitium cordis.

L. Fuss mit 260 Kgr Kapselriss.
Becken: Vordere Symphyse mit 280 Kgr.
L. 1. Finger, I. Gelenk mit 86 Kgr Knochenbruch (Phalange).
II. Gelenk mit 51 Kgr Kapselriss.
L. 2. Finger, II. Gelenk mit 61 Kgr Knochenbruch.
L. 3. Finger, II. Gelenk mit 81 Kgr Knochenbruch.
L. 4. Finger, II. Gelenk mit 65 Kgr Kapselriss.
L. 2. Zehe, I. Gelenk mit 30 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 9.

Maurersfrau, 38 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Hüfte mit 290 Kgr Kapselriss.
L. Knie mit 270 Kgr Kapselriss.
R. Fuss mit 100 Kgr Kapselriss.

L. Fuss	mit 120 Kgr Kapselriss und Bruch des mall. int.
R. 1. Zehe, I. Gelenk	mit 31 Kgr Bruch der I. Phal.
R. 2. Zehe, I. Gelenk	mit 21 Kgr Kapselriss und Bruch der I. Phal.
L. 2. Zehe, I. Gelenk	mit 21 Kgr Kapselriss.
R. 1. Finger, I. Gelenk	mit 61 Kgr Bruch der Phalange.
R. 2. Finger, I. Gelenk	mit 67,5 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 10.

Maurer, 53 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

R. Schulter	mit 200 Kgr Kapselriss.
R. Acromion	mit 121 Kgr Bruch d. Acromion.
R. Ellenbogen	mit 200 Kgr Kapselriss.
R. Hand	mit 130 Kgr Knochenbruch der Handwurzel in der Einspannung.
R. Zwischenknochenband des Unterarmes	längs mit 70 Kgr.

Vers.-Nr. 11.

Taglöhner, 54 Jahre alt. Todesursache: Vitium cordis.

R. Hüfte	mit 580 Kgr Kapselriss.
Becken: Vordere Symphyse	mit 200 Kgr.
Hintere „	R. mit 310 Kgr. L. mit 300 Kgr.
5. Lendenwirbel v. Kreuzbein	mit 300 Kgr.
L. Hand (Radius + Ulna im untern Drittel eingespannt)	
Ulna	mit 130 Kgr ausgezogen.
Radius alsdann allein	mit 190 Kgr Kapselriss.
R. Radius an der Hand	mit 165 Kgr Kapselriss.
R. Ulna am Ellenbogen	mit 230 Kgr Kapselriss.
R. Zwischenknochenband des Unterarmes	längs mit 65 Kgr.
R. 1. Finger, I. Gelenk	mit 101,5 Kgr Kapselriss.
R. 1. Finger, II. Gelenk	mit 41,5 Kgr Knochenbruch.
R. Sternal-Gelenk	mit 80 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 12.

Blumenmacherin, 22 Jahre alt.	Todesursache: Phthisis pulmon.
Wirbel: 3. u. 4. Brustw.	mit 150 Kgr.
4. u. 5. „	mit 190 Kgr.
8. u. 9. „	mit 300 Kgr (mit Schiefbruch des 8. Wirbels und Lösung der Zwischenscheibe).
R. Handgelenk	mit 180 Kgr Kapselriss.
L. Handgelenk (Ulna allein)	mit 120 Kgr Kapselriss.
(Rad. allein)	mit 170 Kgr Kapselriss.
R. 3. Finger, I. Gelenk	mit 71,5 Kgr Kapselriss.
L. 3. Finger, I. Gelenk	mit 71,5 Kgr Kapselriss.
R. 2. Zehe, I. Gelenk	mit 11 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 13.

Fabrikarbeiterin, 21 Jahre alt.	Todesursache: Phthisis pulmon.
L. Hüfte	mit 350 Kgr Kapselriss.
R. Hüfte	mit 350 Kgr Kapselriss.
Lig. inteross. cruris sin.	quer mit 41,5 Kgr.
L. 1. Zehe, I. Gelenk	mit 50 Kgr Phalanx-Bruch.
L. 2. Zehe, I. Gelenk	mit 31 Kgr Kapselriss.
R. Acromial-Gelenk	mit 91 Kgr Kapselriss.
R. Hand (Radius + Ulna)	mit 100 Kgr (unter Knochenbruch Ulna herausgezogen).
R. Hand (Radius + Ulna)	mit 140 Kgr Kapselriss.

Vers.-Nr. 14.

Taglöhner, 67 Jahre alt.	Todesursache: Marasmus.
R. Hüfte	mit 260 Kgr Kapselriss.
L. Hüfte	mit 250 Kgr Kapselriss.
L. Acromial-Gelenk	mit 55 Kgr Kapselriss,
R. Acromial-Gelenk	mit 80 Kgr Kapselriss.
R. Sternal-Gelenk	mit 110 Bruch des Sternum.
L. Schulter	mit 130 Kgr Kapselriss.
R. Schulter	mit 80 Kgr Kapselriss.
R. Ellenbogen (Rad. + Ulna)	mit 145 Kgr Kapselriss.
L. Hand (Radius + Ulna im untern Drittel durch Laschengehänge eingespannt)	mit 150 Kgr Ulna ausgelöst,

alsdann Radius allein mit 170 Kgr Kapselriss.
L. 3. Finger, I. Gelenk mit 60 Kgr Bruch der Phalange.

Vers.-Nr. 15.

Taglöhner, 54 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.
R. Fuss mit 260 Kgr Kapselriss mit Bruch des mall. int.
R. Acromial-Gelenk mit 90 Kgr Kapselriss.
R. Schulter mit 170 Kgr Kapselriss.
L. Ellenbogen (Radius + Ulna im obern Drittel im Laschengehänge beansprucht)
Radius mit 100 Kgr ausgezogen.
dann Ulna allein mit 160 Kgr Kapselriss.
L. Hand (Radius + Ulna im Laschengehänge beansprucht)
Ulna mit 130 Kgr ausgezogen.
dann Radius allein mit 210 Kgr Kapselriss.
R. Daumen I. Gelenk mit 70 Kgr Bruch der Phalange.
R. Daumen II. Gelenk mit 20 Kgr Bruch der Phalange.

Vers.-Nr. 16.

Magd, 24 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.
R. Sternal-Gelenk mit 150 Kgr Bruch der Clavicula und Kapselriss.
L. Sternal-Gelenk mit 120 Kgr Bruch d. Sternum.
L. Hand (Radius + Ulna im untern Drittel mit Laschengehänge beansprucht)
Ulna mit 80 Kgr ausgezogen.
dann Radius allein mit 180 Kgr Kapselriss und Epiphysenbruch.
L. Ligam. inteross. antebrach. längs mit 50 Kgr.
R. Ligam inteross. antebrach quer mit 81,5 Kgr.
L. 4. Finger, I. Gelenk mit 51,5 Kgr Phalanx-Bruch.
R. 1. Zehe, I. Gelenk mit 41,5 Kgr Phalanx-Bruch.
R. 2. Zehe, I. Gelenk mit 1,5 Kgr Kapselriss.
Ligam. inteross. cruris dext. quer mit 41,5 Kgr.

Vers.-Nr. 17.

Taglöhner, 21 Jahre alt. Todesursache: Phthisis pulmon.

L. Fuss	mit 320 Kgr Kapselriss.
R. 1. Zehe, I. Gelenk	mit 81 Kgr Kapselriss.
R. 2. Zehe, II. Gelenk	mit 51 Kgr Kapselrisss.
R. Sternal-Gelenk	mit 146 Kgr Kapselriss.
L. Sternal-Gelenk	mit 91 Kgr Epiphysenlösung an der Clavicula am sternal. Ende.
R. Ellenbogen (Rad. + Ulna)	mit 180 Kgr Kapselriss.
R. Ligam. inteross. antebrach.	längs mit 50 Kgr.
L. Ligam. inteross. antebrach.	quer mit 90 Kgr.

Hauptsätze und Schlussfolgerungen.

A. Für die Gelenke und fibrösen Bänder im Allgemeinen.

Dieselben sind dehnbar durch Zug.

Die Zunahme der Dehnung steht im geraden Verhältnis zur zunehmenden Belastung; Mehrbelastungen von 1 — 5 — 10 Kgr. äussern sich durch Dehnungen von Zehnteln eines Millimeters.

Von dieser Dehnung des fibrösen Gewebes selbst ist zu trennen die durch Auflage der ersten 5, 10, 20 Kgr. erfolgende Ausstreckung des Gelenkes, welche verschieden gross ist je nach der Weite, straffen oder lockern Anordnung der Kapsel. Sie ist z. B. sehr bedeutend beim Schulter-, geringer beim Kniegelenk, sehr gering beim ulnaren Teil des Ellenbogengelenkes.

Das fibröse Gewebe erweist sich bei diesem Zuge auch als elastisch und zwar bis zum Bruch; innerhalb enger Grenzen ist dasselbe sogar vollkommen elastisch; über diese Grenze hinaus gedehnt verliert es einen Teil seiner Elasticität und erscheint alsdann bleibend gedehnt.

Im Allgemeinen wurde beobachtet, dass Gelenke, (auch bei derselben Gelenkart) welche stärker und eher bleibend gedehnt wurden, eine geringere Bruchfestigkeit hatten.

Der Kapselriss bei Längszug erfolgt gewöhnlich durch Ablösen der fibrösen Fasern vom Ansatzpunkt an einem oder an beiden Gelenkknochen unter Abreissen von kleinen Knochen- und Knorpelstückchen; die Kapsel selbst wird hiebei meist allmählich in einzelne Fasern aufgelöst.

Die Bruchbelastung schwankt je nach der Stärke des Gelenkes: es gibt schwächere und stärkere Gelenke am menschlichen Körper. Auch die gleiche Gelenkart kann bei verschiedenen Individuen verschieden hohe Bruchbelastung ergeben je nach der Ausbildung des betreffenden Gelenkes, der Berufsart des Individuum,

seinem Geschlecht und Körperbau. Die tote Muskelmasse hat auf die Bruchfestigkeit der Kapsel keinen Einfluss.

Man hat bei den einzelnen Gelenken bestimmte, typische Formen des Kapselrisses zu unterscheiden. Die Kapsel reisst dort am ersten, wo sie am meisten beansprucht wird und dieselbe zugleich am schwächsten ist.

Bei vielen Gelenken zeigt die Kapsel eine geringere Bruchfestigkeit als der Knochen [vorausgesetzt, dass der Knochen nicht durch Krankheit, hohes Alter, lange Unthätigkeit porotisch und fettig degenerirt ist*)]. Eine Ausnahme machen nur die Zehen- und Fingergelenke, das acromiale und sternale Gelenk der Clavicula, das Hand- und Fussgelenk; bei diesen kommen durch Achsenzug nicht selten Knochenbrüche zu Stande; gewöhnlich reisst aber auch bei diesen Gelenken gleichzeitig die Kapsel mit; (seltener allerdings bei den Zehen- und Fingergelenken).

Für die Hebelung eines Gelenkes d. h. Beanspruchung desselben auf Zug nach einer Seite hin gelten im Allgemeinen dieselben Gesetze; nur ist die Aeusserung der Zugkraft immer in den oberen Schichten der Zugseite des Gelenkes am bedeutendsten. Hier reisst die Kapsel zuerst.

B. Für die einzelnen Gelenke.

1) Schultergelenk:

Die Anfangsstreckung durch die ersten 10 Kgr Belastung ist sehr gross, weil die Kapsel sehr locker und geräumig ist. Als Schutzvorrichtung gegen eine zu bedeutende Streckung der Kapsel wirkt hier besonders die luftdichte Einlagerung der Kapsel unter das Acromion.

Der erste Kapselriss liegt bei Achsenzug wie bei Hebelung immer innen und unten am Oberarmkopf. Hier ist die schwächste Seite der Kapsel; dieselbe trägt nur halb so viel Belastung als die obere Seite. Daher ist auch die Luxation nach unten die gewöhnliche.

---

*) Vergleiche S. 45: Femur schwächer als Kniegelenk } ein einziges Mal.
S. 60: Tibia „ „ Fussgelenk }

2) Hüftgelenk:

Die Anfangsstreckung ist gering.

Als stärkste Seite der Kapsel erweist sich die vordere im Bereich des ligament. Bertini seu ilio-femorale, als schwächste die des ligamentum ischio-femorale.

Damit stimmt überein, dass die vordere Seite der Kapsel bei Luxationen fast nie reisst und dass die Luxationen mit unterem und hinterem Kapselriss am häufigsten sind.

Beansprucht man das Gelenk in Längszug auf die höchst mögliche Bruchbelastung für das ligamentum ilio-femorale, so erhält man fast immer eine typische Bruchform durch Abreissen der vordern Kapselwand vom Becken, meist mit Loslösung der Spina anterior inferior oder eines Teils des vorderen Pfannenrandes.

Das ligamentum teres hat wenig oder gar nichts zu tragen; seine Zugfestigkeit ist sehr gering (nur wenige Kgr).

3) Kniegelenk.

Die Anfangsdehnung ist sehr gering. Die festesten Teile der Kapsel, die hintere Wand und die seitlichen Bänder werden am meisten beansprucht bei Längsachsenzug und Hebelung nach vorn.

In beiden Fällen hat der Kapselriss die gleiche typische Form: Er beginnt hinten und aussen oberhalb der Fibula, geht alsdann quer durch die ganze hintere Wand. Hiebei werden meist kleine Knochen- und Knorpelteilchen mit dem Bänderansatz (namentlich am ligament. accessor. intern. und externum) abgelöst.

Bemerkenswert ist, dass im Längszug vor der äussern Kapsel die inneren kürzer gefassten Bänder, ligamenta cruciata, bei bedeutend niederer Belastung reissen. Bei der Hebelung nach vorn dagegen wird zuerst die äussere Kapsel, das ligamentum popliteum eingerissen, alsdann werden die inneren Bänder bei der gleichen oder höheren Belastung abgesprengt.

Knochenbrüche kommen im Längszug fast nie vor (nur einmal bei einem porösen Femur beobachtet), nicht so selten aber bei der Hebelung. (Querer Einbruch des Tibia-Kopfes.)

4) Fussgelenk:

I. Gelenkachsenzug.

Die Anfangsdehnung ist gering.

Lange vor dem Bruch tritt der äussere Fussrand tiefer, weil die äusseren Bänder nachgiebiger sind; diese Seite wird auch stärker gedehnt. Der Kapselriss erfolgt meisst vorn und seitlich; und zwar reissen fast ausnahmslos die innern und äussern Seitenbänder von den Unterschenkelknochen mit corticalen Knochenlamellen oder sogar sammt den Malleolen selbst los. Dieser Knochenbruch erfolgt 1—3 cm über dem untern Ende der Malleolen; am malleolus intern. regelmässig in einer Ebene mit der tibialen Gelenkfläche. In 50% der Fälle reisst zuerst das innere Band mit fractura malleol. interni zu 40%; in 33% der Fälle zuerst das äussere Band mit fractur. malleol. extern. zu 16%. Diese Knochenbrüche erfolgen bei erwachsenen, kräftigen Individuen ebenso häufig als bei alten, schwächlichen. Die Häufigkeit der Malleolen-Fracturen bei reinem Längsachsenzug schon gibt eine Erklärung für die Häufigkeit dieses Knochenbruches bei Gelenkverletzungen.

Kapselriss in der articulatio talo-navicularis und talo-calcanea ist hiebei selten.

Die Bruchfestigkeit bei Fussgelenken weibl. Individuen ist geringer als bei Männern.

II. Bei Hebelung des Fusses nach der Aussen- oder Innen-Seite erfolgt der Kapselriss und Knochenbruch ähnlich wie beim Achsenzug: in der Hauptsache vorn, aber mehr einseitig aussen, wenn die äussere, mehr innen, wenn die innere Seite beansprucht ist. Der Kapselriss ist immer gross mit ausgedehnter Bandzerreissung; und zwar wieder an den Unterschenkelknochen.

Hiebei kommt in der Mehrzahl der Fälle Querbruch des Malleolus der beanspruchten Seite vor: des innern zu 77%, des äussern zu 50% der Fälle. Seltener brechen beide Malleolen zugleich bei Beanspruchung nach einer Seite hin, auch wenn der Fuss bis zu einem rechten Winkel umgelegt wird. Der Knochenbruch liegt 1—3 cm über dem untern Ende der Malleolen, selten an der Fibula etwas höher (bis zu 6 cm).

Bei derartigen Versuchen beobachtet man, dass die Bruchbelastung für die Malleolen etwas niedriger (um etwa 10 Kgr) ist, als die der Bänder: gewöhnlich zeigt das Band nur ganz geringe Faserlösungen, während der Knochen durch die Biegung bereits im Brechen ist; alsdann reisst erst die ganze Kapselwand auf.

Dies kommt daher, dass der Knochen bei derartiger Beanspruchung abgebogen oder abgedrückt, hingegen das Band auch bei seitlicher Beanspruchung gezogen wird. Die reine Zugfestigkeit des Knochens ist allerdings höher als die des fibrösen Gewebes.*)

Die äussere Fussseite ist fast immer (zu 88%) die schwächere und zwar verhält sich die äussere zur innern in dieser Hinsicht wie 1 : 1,4.

Auch bei der Hebelung ist das weibliche Gelenk schwächer als das männliche, im Verhältnis von 1 : 1,4.

Verletzung der articulatio talo-navicular. und talo-calcanea ist auch bei der Hebelung selten (in 6%); es kommt vorher zum Malleolenbruch aus oben angegebenen Gründen.

5) Zehen- und Fingergelenke:

Entsprechend der in praxi gewöhnlich vorkommenden dorsalen Luxation, bei welcher der distale Knochen auf den Rücken des proximalen zu stehen kommt, wird in den Zug- und Hebelversuchen am häufigsten Kapselriss volar (resp. plantar bei den Zehen) am proximalen Knochen beobachtet, so dass der proximale Gelenkkopf durch den volaren Kapselriss heraus treten kann.

Die Kapsel- und Knochenfestigkeit liegen namentlich am Daumen und an der grossen Zehe sehr nahe beisammen; am Daumen und an der grossen Zehe ist die Festigkeit der Kapsel oft sogar grösser als die des Knochens. Durch die Anfangsbelastung von einigen (1—5) Kgr wird die Gelenkkapsel ziemlich bedeutend gestreckt.

6) Handgelenk:

Die Anfangsstreckungen der Kapsel durch Achsenzug sind auf der radialen Seite gering, bedeutend aber auf der ulnaren; letztere wird auch eher bleibend gedehnt und kommt demgemäss eher zum Bruch (nach dem allgemein giltigen Satz: Ein Gelenk, welches stärker und früher bleibend gedehnt wird, hat auch eine geringere Bruchfestigkeit).

Der Kapselriss erfolgt immer zuerst auf der ulnaren Seite und geht dann allmälich meisst bei höherer Belastung auf die radiale

*) Nach Luxations-Versuchen Bonnet's und Hönigschmied's reisst das Band ebenso häufig als der Malleolus; dies stimmt ziemlich mit meinen Zug- und Hebelversuchen.

Seite über, indem er gewöhnlich volar am untern Ende des Radius quer verläuft. Sehr oft kommt es hiebei zur queren Epiphysenlösung sowohl an der Ulna als am Radius: an der Ulna reisst gewöhnlich nur das äusserste Ende der Apophyse (process. styloid.) ab (zu 60%), während der Radius 1—3 cm über seinem untern Ende in der ganzen Quere durchreisst (zu 50%).

Das weibliche Handgelenk ist schwächer als das männliche.

Durch dorsale Hebelung gelingt eine Trennung des Gelenkes nur äusserst schwer. Das volare Band (ligament. carpi volare proprium) ist so stark und dehnbar, dass die Hand vollkommen rückwärts umgelegt werden kann, ohne dass die Bänder reissen.

Die Häufigkeit der geschilderten Knochenbrüche beim Achsenzug gerade an jener der fractura radii typica eigenen Stelle erklärt hinreichend die Häufigkeit dieser in praxi vorkommenden Verletzung; andererseits geht aber aus obigem Resultat der Hebelung hervor, dass es nicht die Rückwärts-Bewegung der Hand in der Hauptsache sein kann, welche beim Auffallen auf die Hand die typische Radiusfractur hervorbringt; es wird vielmehr hiebei der auf den Radius fortgesetzte Stoss eine bedeutende Rolle spielen, indem dadurch die Epiphyse teilweise dorsal abgebrochen, teilweise in den Schaft eingetrieben wird. (Man begegnet ja auch in praxi thatsächlich dieser Einkeilung der Fragmente ab und zu.)

7) Ellenbogengelenk:

Die Anfangsstreckung ist hier umgekehrt zur Hand im radialen Gelenkteil viel grösser als im ulnaren. Jener ist auch bedeutend schwächer als dieser.

Der Kapselriss beim Längsachsenzug hat typische Form: Zuerst wird der Gelenkkopf des Radius meist ohne bedeutende Bandzerreissung unter stetiger Mehrbelastung langsam nach unten und aussen aus dem Ringband herausgezogen; bei weit höherer Belastung folgt alsdann quere Durchreissung der vorderen Kapselwand über dem processus coronoideus ulnae und Riss des innern Seitenbandes; Knochenbruch (an den Condylen des Humerus) ist sehr selten (zu 5%).

Jenes isolirte Ausziehen des Radiuskopfes in den Versuchen lässt auf das Zustandekommen der isolirten Luxation des Radius,

welche in praxi häufiger ist als die isolirte Luxation der Ulna, schliessen.

König, (Lehrbuch d. Chirurg. 1881 Bd. III S. 104 ff.) macht schon darauf aufmerksam, dass bei der Luxatio capituli radii die Kapsel, speciell das ligamentum laterale externum und anulare wahrscheinlich oft unverletzt bleibe, und führt als Beleg dafür mehrere Präparate Debruyn's an.

Diese eigentümliche Form des Kapselrisses erklärt weiter die Schwierigkeit, auf welche die Reposition des Capitul. rad. zur Gelenkfläche des Humerus stösst; es hält eben schwer den aus dem Ringband herausgeschlüpften Kopf wieder durch das enge Loch, welches nur dem Umfang des Knochenhalses entspricht, in die Gelenkhöhle zurückzubringen. Roser, Robert, Streubel erwähnen ebenfalls die Möglichkeit einer solchen Interposition des Ringbandes.

Die Experimente zeigen ferner, dass der Radius am leichtesten nach vorn und aussen aus dem Ringband herausschlüpft; diese Art des Kapselrisses erklärt die Häufigkeit der Luxation des Radius nach vorn.

Ferner erklären sich aus dem langsamen Auslösungsvorgang des Radiuskopfes aus dem Ellenbogengelenk durch Längsachsenzug die namentlich von französischen Beobachtern (Fournier, Duglès, Martin) berichteten unvollkommenen Luxationen des Radiuskopfes, wie sie bei Kindern durch Zug an der Hand vorkommen können.

Aus dem Verlauf der früher bei den einzelnen Versuchen angegebenen Dehnungen ist der grosse Abstand der Gelenkflächen zwischen Radiuskopf und Humerus ersichtlich. Die Kapsel wird hiebei zwischen Humerus und ligamentum annulare (namentlich auf der hintern Seite) stark eingezogen, der Radius allmälich immer mehr nach unten durch das ligamentum annulare durchgezogen. Lässt man nun in dieser Stellung mit dem Zuge plötzlich nach, so hat man die unvollkommene Luxation des Radiuskopfes mit Kapselinterposition, indem die eingezogene Kapsel zwischen Oberarm und zurückfedernden Radiuskopf eingeklemmt wird und dieser nicht mehr so leicht durch das Ringband emportreten kann. Streubel hat auf diesen Vorgang an Kinderleichen bereits experimentell aufmerksam gemacht.

Bei Hebelung nach der dorsalen Seite kommt fast der gleiche

Kapselriss zu Stande, wie beim Längsachenzug: es reisst die vordere Kapselwand oberhalb des processus coronoideus ulnae durch, gleichzeitig wird aber auch die Kapsel vorn über dem Radius und seinem Ringbande quer durchtrennt, alsdann reissen die Seitenbänder ab.

Das weibliche Gelenk ist auch hier schwächer als das männliche.

8) Aus der Festigkeitsprüfung des ligamentum interosseum, sowohl in seiner ganzen Verbindung mit dem Ellenbogen- und Handgelenk, als auch für sich allein der Länge und Quere nach, geht hervor, dass in diesem die wesentlichste Bedingung zur Tragfähigkeit der genannten beiden Gelenke liegt. Durch dieses Band und namentlich auch noch durch die obere und untere quere fibröse Verbindung (der Gelenkenden der beiden Unterarmknochen) wird eine mechanische Verspannung des oben schwächeren Radiusendes und des unten schwächeren Ulna-endes mit dem andern entgegengesetzt stärkeren Knochen zu einem oben und unten gleich festen Ganzen erzielt.

Aus dem Verlauf der Zugversuche (vergl. S. 80 und Fig. 12) geht im Einzelnen hervor, dass die untere quere Verbindung am Handgelenk und der untere Teil des ligam. inteross., welcher in $\sphericalangle 45^0$ zur Ulna emporsteigt, die Ueberleitung der Kraft vom Radius zur Ulna übernehmen (mit 130 Kgr Bruchfestigkeit), dass der obere Teil des ligam. inteross., welcher in entgegengesetzter Richtung mit $\sphericalangle 45^0$ zum Radius emporsteigt, und die obere Verbindung am Ellenbogengelenk vor Allem das Abstreben des Radius verhindern (mit 80 Kgr Bruchfestigkeit).

9) Wirbelsäule:

Die bedeutendsten Dehnungen durch Längszug finden an den Zwischenscheiben der Hals- und Lendenwirbel (namentlich in der Verbindung des letzten Lendenwirbels mit dem Kreuzbein) statt.

Diese Dehnungen entsprechen einer gleich grossen Compression durch Druck. Doch wird die Verkleinerung der Wirbelsäule bei den Druckversuchen auch durch Ausbiegung der ganzen Säule nach hinten und seitwärts mit bedingt. Die Zugfestigkeit der Zwischenscheiben ist geringer als die der Wirbelkörper; stellenweise aber fast ebenso gross (wie aus dem Abreissen von Wirbelknochenstücken im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule hervorgeht).

10) Gelenke von Neugeborenen:

Die Dehnungen verlaufen hier in der gleichen Weise wie bei den Gelenken Erwachsener.

Beim Bruch kommt es hier allerdings sehr oft zu Epiphysenlösungen nahe an der Kapsel; doch nicht ausschliesslich, indem Gelenkkapselriss ohne Epiphysenlösung einige Male an der Hüfte, am Ellenbogen- und Fussgelenk beobachtet worden ist.

Vorstehende Arbeit soll ein Bild geben von der Festigkeit der Gelenke an und für sich. Die Anwendung der angegebenen Festigkeitszahlen unmittelbar auf den lebenden Zustand ist allerdings nicht einwandsfrei, denn jene Werthe wurden an toten, wenn auch möglichst frischen Präparaten gefunden, denen der Tonus des lebenden Gewebes und der Widerstand der lebendigen Muskelkraft fehlt. Sicher aber geben die gewonnenen Resultate eine ziemlich genaue Vorstellung über die feste Zusammenfügung des Knochengerüstes in den Gelenken.

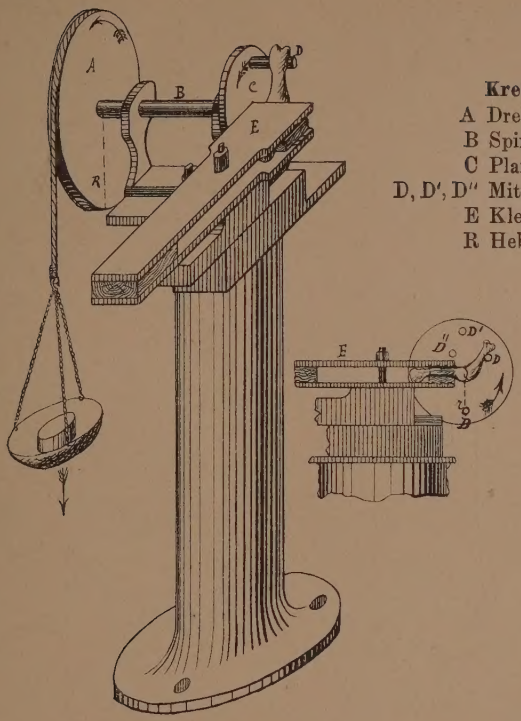
Kgl. Hof- u. Universitäts-Buchdruckerei von Dr. C. Wolf & Sohn.

Fig. 1. **Festigkeitsprüfungsmaschine.** (Seite 1 u. 23.)

Eingespannt war das *R* Hüftgelenk (Vers. 12, Seite 28) im Augenblick des Kapselrisses vorn am Becken.

Fig. 2. **Festigkeitsprüfungsmaschine.**

Eingespannt war das *R* Ellenbogengelenk (Vers. 10, Seite 87). Bei *a* riss mit 240 Kgr das radiale Gelenk, welches allein auseinander gezogen wurde.



Kreishebel:
A Drehscheibe.
B Spindel.
C Planscheibe.
D, D′, D″ Mitnehmerstift.
E Klemmbacken.
R Hebellänge.

Fig. 3a.

Zughebel:
A B Rechtwinkl. Console.
E Klemmbacken.
C D Angriff und Richtung des Flaschenzuges.

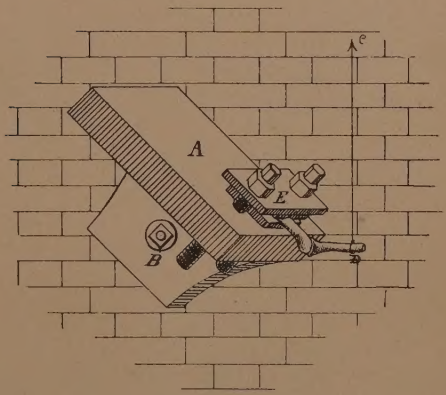


Fig. 3b

Fig. 8a

Fig. 8b

Bruchform der hintern **Kniegelenkskapselwand**
(vers. 4 Seite 43).

a linkes Gelenk: Bruchbelastung 450 Kgr, *b* rechtes Gelenk, valgus in $\sphericalangle$ 170°, Bruchbelastung 350 Kgr.

(Die Holzstäbe in den Knochen geben die Richtung der Bolzen und Schrauben für die Einspannung an.)